



**Bachelorarbeit des Studiengangs
Augenoptik / Augenoptik Hörakustik**

**Untersuchung der Messmöglichkeiten mit
dem Photorefraktometer PowerRef3 plusoptiX
R09 für den Einsatz im Praktikum des
Studienganges Augenoptik/Optometrie an der
Hochschule Aalen**

Zugelassene Abschlussarbeit des Studiengangs Augenoptik und Hörakustik
zur Erlangung des akademischen Grades Bachelor of Science

vorgelegt von
Constanze Bayha

Tag der Einreichung:

23.02.2018

Erstbetreuer: Prof. Dr. Annemarie Buser

Zweitbetreuer: Dipl. Ing. Ralf Michels

Erklärung

Ich versichere hiermit, dass ich die vorliegende Bachelorthesis selbstständig und ohne fremde Hilfe angefertigt und keine andere als die angegebene Literatur benutzt habe. Alle von anderen Autoren wörtlich übernommenen Stellen wie auch die sich an die Gedankengänge anderer Autoren eng anlehnenden Ausführungen meiner Arbeit sind besonders gekennzeichnet. Diese Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch nicht veröffentlicht.

Ort, Datum

Unterschrift

Zusammenfassung

Die Photorefraktion findet heutzutage Anwendung in Augenkliniken, der refraktiven Chirurgie und bei Forschungen zum Thema Akkommodation bei Menschen und bei Tieren. Ein entscheidender Vorteil dieser objektiven Refraktionsbestimmung besteht darin, Fehlsichtigkeiten schnell, binokular und auf Distanz zu vermessen.

In der vorliegenden Arbeit werden die Messmöglichkeiten mit dem Photorefraktometer PowerRef3 plusoptiX R09 genau untersucht, damit Studierende des Studienganges Augenoptik/Optometrie der Hochschule Aalen in Zukunft, im Rahmen eines Praktikums, Messungen durchführen können.

Im Zuge dessen wurden aus den gewonnenen Erkenntnissen der Messungen für die Studierenden eine potentielle Praktikumsanleitung und eine Bedienungsanleitung erstellt. Die Bedienungsanleitung enthält eine Beschreibung beim Vorgehen einer Messung.

Eine ausführliche Messung zur Kalibrierung des Photorefraktometers wurde mit fünf Probanden durchgeführt. Sie zeigte, dass eine sehr hohe Korrelation zwischen erwarteter und gemessener Refraktion besteht ($R^2=0,9905$). Die lineare Gleichung der Regressionsgeraden lautet *gemessene Refraktion* $=1,0647 \cdot \text{erwartete Refraktion} + 0,0682$. Der Pupillendurchmesser des abgedeckten Auges ändert sich um 0,1190 mm pro vorgehaltene Dioptrie. Außerdem konnte mit dieser Messung die beim Probanden vorliegende Phorie qualitativ bestimmt werden.

Zwar gestalten sich die Messungen mit dem Photorefraktometer nicht immer ganz einfach, jedoch bietet sich der Photorefraktometer sehr gut an, um bereits theoretisch erlernte Inhalte praktisch anzuwenden, zu untersuchen, Abweichungen kritisch zu hinterfragen und deren Ursache zu analysieren. Die Messungen mit dem Photorefraktometer PowerRef3 plusoptiX R09 können sehr wertvolle Hinweise geben, die mit anderen Techniken nicht gewonnen werden können.

Vorwort

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die mich bei der Anfertigung dieser Bachelorarbeit unterstützt haben.

Zu allererst möchte ich mich herzlich bei Frau Prof. Dr. Annemarie Buser für die ausgezeichnete Betreuung dieser Arbeit bedanken. Vielen Dank für das aufgebrachte Engagement, die Zeit, die Mühen und die Geduld, die sie in die Begleitung dieser Arbeit investiert haben. Die hilfreichen Anregungen, die gemeinsamen Gespräche und die zügige Kommunikation haben mich in meiner Arbeit stets vorangebracht.

Ebenso danken möchte ich Herrn Ralph Stirnadel, der Firma Plusoptix GmbH, für seine hilfreichen Ratschläge und die regelmäßige und zügige Beantwortung von Fragen bezüglich des PowerRef3 plusoptiX R09.

Ein ebenfalls großer Dank gilt dem Mitbetreuer der Arbeit, Herrn Dipl. Ing. Ralf Michels.

Ein besonderer Dank geht an alle Probanden, die sich die Zeit genommen haben, für Messungen im Rahmen dieser Arbeit zur Verfügung zu stehen.

Für die aufmunternden Worte, mit denen sie mich vor und während der Arbeit an dieser Bachelorthesis unterstützt hat, und für die Zusammenarbeit während des gesamten Studiums möchte ich mich ganz herzlich bei meiner Kommilitonin Christina May bedanken.

Nicht zuletzt möchte ich meiner Familie und besonders meinen Eltern danken, die mich während des gesamten Studiums sowohl finanziell als auch moralisch unterstützt haben und mir Rückhalt gegeben haben. Ebenso danke ich Michael Mauth für die motivierenden Worte und dafür, dass er immer ein offenes Ohr für mich hatte.

Inhaltsverzeichnis

Erklärung	I
Zusammenfassung.....	II
Vorwort	III
Inhaltsverzeichnis.....	IV
Formelzeichen	VI
Abkürzungen.....	VII
1 Einleitung	1
1.1 Motivation	1
1.2 Ziele der Arbeit.....	2
2 Theoretische Grundlagen	3
2.1 Exzentrische Photorefraktion	3
2.2 Akkommodation	5
2.3 Akkomodationsruhelage	9
2.4 Naheinstellungstrias.....	10
3 Material und Methoden	11
3.1 PowerRef3 plusoptiX R09	11
3.1.1 Anwendung und Einsatzgebiete	11
3.1.2 Spezifikationen	12
3.1.3 Aufbau des Gerätes	13
3.1.4 Bedienung	15
3.1.4.1 Aufbau des Softwaremenüs.....	15
3.1.4.2 Anschließen, Ein- und Ausschalten, Einstellungen.....	17
3.1.4.3 Durchführung einer Messung	18
3.1.4.4 Statusmeldungen und praktische Tipps.....	23
3.1.4.5 Datenformat der Messwerte	24
3.1.5 Weitere Lizenz CM	27
3.1.5.1 Aktivierung der Lizenz	28

3.1.5.2 Aufbau des Softwaremenüs.....	28
3.1.5.3 Anschließen, Ein- und Ausschalten, Einstellungen.....	30
3.1.5.4 Durchführung einer Messung	33
3.1.5.5 Statusmeldungen.....	37
3.2 Kalibrierung.....	38
3.3 Ablauf und Auswertung der Messungen	39
3.3.1 Messungen ohne und mit Korrektur.....	39
3.3.2 Messungen in verschiedenen Einstellentfernungen	39
3.3.3 Messungen bei Änderung der Einstellentfernung.....	40
3.3.4 Messungen bei Akkommodationsruhelage.....	41
3.3.5 Messungen zur Reproduzierbarkeit.....	41
3.3.6 Messungen zur Kalibrierung.....	41
4 Ergebnisse	45
4.1 Ergebnisse der Messungen ohne und mit Korrektur	45
4.2 Ergebnisse der Messungen in verschiedenen Einstellentfernungen.....	46
4.3 Ergebnisse der Messungen bei Änderung der Einstellentfernung	46
4.4 Ergebnisse der Messungen bei Akkommodationsruhelage	47
4.5 Ergebnisse der Messungen zur Reproduzierbarkeit	47
4.6 Ergebnisse der Messungen zur Kalibrierung	48
5 Messmöglichkeiten für Studierende im Praktikum	55
6 Diskussion	58
7 Schlussfolgerung und Ausblick.....	61
Literaturverzeichnis.....	VIII
Abbildungsverzeichnis	X
Tabellenverzeichnis	XII
Anhang.....	XIII

Formelzeichen

Zeichen	Einheit	Bedeutung
a	-	y-Achsenabschnitt
α	%	Signifikanzniveau (t-Test für abhängige Stichproben)
b	-	Regressionskoeffizient, Geradensteigung
d	-	Differenzen der Wertepaare (t-Test für abhängige Stichproben)
d_{quer}	-	Mittelwert der Differenzen der Wertepaare (t-Test für abhängige Stichproben)
df	-	Freiheitsgrad (t-Test für abhängige Stichproben)
HSA	m	Hornhautscheitelabstand
n	-	Probandenanzahl (t-Test für abhängige Stichproben)
S'_{∞}	dpt	Scheitelbrechwert
s	-	Standardabweichung der Differenzen der Wertepaare (t-Test für abhängige Stichproben)
t	-	Berechneter t-Wert (t-Test für abhängige Stichproben)
$t_{df, \alpha}$	-	Kritischer t-Wert aus der t-Tabelle für zweiseitige Fragestellungen mit Freiheitsgrad df und Signifikanzniveau α (t-Test für abhängige Stichproben)

Abkürzungen

Zeichen	Bedeutung
cc	Cum Correctione
dpt	Dioptrien
HSA	Hornhautscheitelabstand
L	Linkes Auge
MW	Mittelwert
PD	Pupillendistanz
px	Pixel
R	Rechtes Auge
R^2	Quadrat des Pearsonschen Korrelationskoeffizienten
RD	Refraktionsdefizit
s	Standardabweichung
sc	Sine Correctione

1 Einleitung

1.1 Motivation

Die Photorefraktion ist eine Methode der objektiven Refraktionsbestimmung auf Distanz. Sie arbeitet nach dem Prinzip der exzentrischen Photorefraktion, die 1948 erstmals erwähnt wurde (Rosengren, 1948) und 1979 von Kaakinen, ohne quantitative Aussagen über die Fehlsichtigkeit, popularisiert wurde (Kaakinen, 1979). Erstmals wurde die Fehlsichtigkeit durch Howland (Howland, 1985) und Bobier und Braddick (Bobier, Braddick, 1985) bestimmt.

Mittlerweile arbeiten Photorefraktometer, wie z.B. der PowerRef3 plusoptiX R09, sehr genau, zuverlässig und präzise. Die Genauigkeit dieser Refraktionsbestimmung ist vergleichbar mit der Refraktionsbestimmung mit einem herkömmlichen Autorefraktometer. Meist sind die sphärischen Refraktionswerte des Photorefraktometers etwas hyperoper als die eines Autorefraktometers, wie in verschiedenen Literaturen angegeben: 0,42 dpt (Abrahamsson et al. 2003), 0,43 dpt (Gekeler et al. 1997) und 0,70 dpt (Choi et al. 2000). Dies ist auf die Instrumentenmyopie des Autorefraktometers zurückzuführen (Choi et al. 2000).

Der Vorteil eines Photorefraktometers gegenüber einem Autorefraktometer ist allerdings, dass in kurzer Zeit bei beiden Augen gleichzeitig, also binokular, die Refraktion, der Pupillendurchmesser, die Pupillendistanz und die Blickrichtung bestimmt werden können. Allerdings ist der Messbereich der sphärischen Refraktion eines Photorefraktometers nur etwa halb so groß wie der eines Autorefraktometers (Choi et al. 2000).

Photorefraktometer werden oft in Augenkliniken zum Screening und bei Forschungen zum Thema Akkommodation bei Menschen und bei Tieren wie zum Beispiel Hühner, Schildkröten, Affen, Schlangen, Eulen und Chamäleon eingesetzt (Schaeffel, Weiss 2002).

Für Akkommodationsstudien wird vor der eigentlichen Messung oft eine Kalibrierung des Photorefraktometers durchgeführt. Dabei wird individuell für jeden Probanden der Umrechnungsfaktor von erwarteter auf gemessene Refraktion bestimmt. Choi et al. (2000) führte eine Studie mit 15 Probanden durch, bei der im

Voraus eine Kalibrierung gemacht wurde. Die Auftragung der gemessenen Refraktion gegen die erwartete Refraktion ergab einen Regressionskoeffizienten b (Steigung der linearen Regressionsgeraden) von 1,0442 und einen y-Achsenabschnitt a von -0,0392. Das Quadrat des Pearsonschen Korrelationskoeffizienten R^2 betrug 0,9947.

1.2 Ziele der Arbeit

Ziel dieser Arbeit ist die Untersuchung der Messmöglichkeiten mit dem Photorefraktometer PowerRef3 plusoptiX R09, damit Studierende des Studienganges Augenoptik/Optomietrie der Hochschule Aalen in Zukunft, im Rahmen eines Praktikums, Messungen durchführen können. Dazu wurden zuerst diverse Probemessungen durchgeführt, die zum Kennenlernen des Gerätes dienten. Die gewonnenen Erkenntnisse aus diesen Messungen wurden bei der Erstellung der Praktikumsanleitung und Bedienungsanleitung für die Studierenden berücksichtigt. Die Bedienungsanleitung enthält eine Beschreibung beim Vorgehen einer Messung. Neben diesen Probemessungen wurde eine Messung, die Messung zur Kalibrierung, besonders ausführlich durchgeführt, ausgewertet und den in der Literatur beschriebenen wissenschaftlichen Arbeiten gegenübergestellt.

Im ersten Teil dieser Arbeit werden die für die Messungen benötigten theoretischen Grundlagen erläutert. Anschließend wird im Kapitel Material und Methoden genauer auf den verwendeten Photorefraktometer PowerRef3 plusoptiX R09, dessen Funktionsweise, die in der Literatur beschriebene Kalibrierung des Gerätes und den Ablauf sowie die Auswertung der durchgeführten Messungen eingegangen. Danach folgen die Ergebnisse und Erkenntnisse der einzelnen Messungen. Abschließend werden die Messmöglichkeiten für Studierende im Praktikum anhand einer erstellten Bedienungs- und Praktikumsanleitung erläutert.

2 Theoretische Grundlagen

In diesem Abschnitt der Arbeit werden die theoretischen Grundlagen der exzentrischen Photorefraktion, der Akkommodation, der Akkommodationsruhelage und der Naheinstellungstrias beschrieben.

2.1 Exzentrische Photorefraktion

Die exzentrische Photorefraktion, auch Photoretinoskopie oder -skiaskopie genannt, ist eine objektive Methode zur Refraktionsbestimmung. Sie hat Ähnlichkeiten mit der Skiaskopie und ist auch das Funktionsprinzip der Autorefraktometer. Im Vergleich zur Skiaskopie werden bei der Photorefraktion keine Bewegungen des Lichtreflexes in der Pupille beurteilt, sondern statisch die Verteilung des reflektierten Lichtes in der Probandenpupille beobachtet (Wesemann et al.1991).

In Abbildung 1 ist das Prinzip der exzentrischen Photorefraktion schematisch dargestellt.

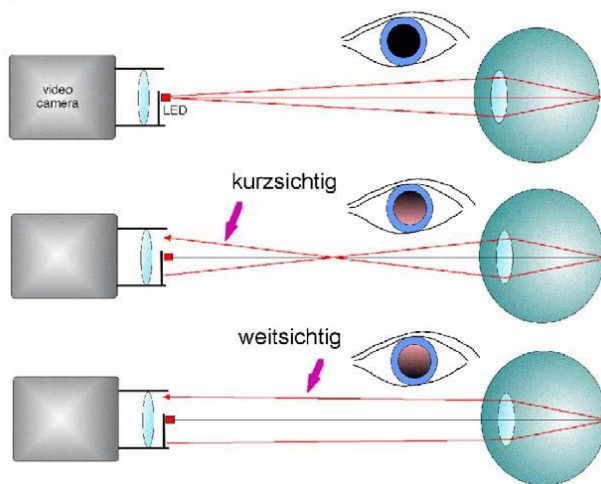


Abbildung 1 Prinzip der exzentrischen Photorefraktion (Schaeffel, Weiss 2002), Erläuterungen im Text

Die Kameraöffnung ist mit einer lichtundurchlässigen Platte partiell (hier: von unten) abgedeckt. Die hier punktförmige Lichtquelle (LED) befindet sich vor der Kameraabdeckung in der Nähe der Abdeckungskante. In der Kamera sind normalerweise mehrere Infrarot-Leuchtdioden, sogenannte Photorefraktoren, speziell

angeordnet. Das austretende Infrarotlicht wird auf der Netzhaut abgebildet und reflektiert. Durch die Abdeckung des Objektivs wird ein Teil des reflektierten Lichtes blockiert und kann von der Kamera nicht erfasst werden. Daraus resultieren für die Kamera, je nach Fehlsichtigkeit des Auges, charakteristische Helligkeitsverläufe in der Pupille, die detektiert werden. Je nach Refraktionsfehler des Auges wird das reflektierte Licht unterschiedlich abgelenkt (Choi et al. 2000, Abrahamsson et al. 2003). Bei allen drei schematischen Bildern der Abbildung 1 ist das Auge auf die Ferne eingestellt.

Beim emmetropen Auge (oben in Abbildung 1) werden die reflektierten Strahlen wieder auf die Lichtquelle fokussiert. Durch die Abdeckung kann folglich kein Licht in die Kameraöffnung gelangen und die Pupille erscheint gleichmäßig dunkel. Beim myopen Auge (Mitte in Abbildung 1) liegt der Fokus der von der Netzhaut reflektierten Strahlung zwischen dem Auge und der Kamera. Danach werden die Strahlen divergent. In diesem Fall treten nur Strahlen aus dem unteren Teil der Pupille in die Kamera ein. Deshalb erscheint der untere Teil der Pupille heller. Beim hyperopen Auge (unten in Abbildung 1) tritt ein divergentes Strahlenbündel auf die Kamera auf. Es können nur Strahlen aus dem oberen Teil der Pupille in die Kamera einfallen, der obere Pupillenbereich erscheint heller. Je höher die Fehlsichtigkeit ist, desto breiter wird der helle Bereich der Pupille (Schaeffel, Weiss 2002; Diepes 2004).

Die Photorefraktion bringt einige Vor- aber auch Nachteile mit sich. Das Messverfahren erlaubt eine Bestimmung der Fehlsichtigkeit am Probanden auf Distanz und wird üblicherweise aus 1,00 m Entfernung durchgeführt. Dies erleichtert die Messung nicht-kooperativer Probanden, wie z.B. Kleinkinder (Abrahamsson et al. 2003). Da bei der Messung infrarotes Licht verwendet wird, ist für den Probanden die Messung nicht wahrnehmbar. Außerdem ist eine schnelle, gleichzeitige und binokulare Messung von Refraktion, Pupillendurchmesser, Pupillendistanz und Blickrichtung möglich. Dies wird durch eine echtzeitige Auswertung der digitalen Videobilder ermöglicht. Beide Augen werden also zum gleichen Zeitpunkt und im gleichen Akkommodationszustand vermessen (Choi et al. 2000). Mithilfe der gleichzeitigen Messung beider Augen können Anisometropien leicht aufgefunden werden (Schaeffel et al. 2007). Des Weiteren können die Hornhautreflexe mithilfe

eines Photorefraktometers ausgewertet und damit ein Schielen diagnostiziert werden. Die Photorefraktion bietet auch die Möglichkeit Messungen bei mit Brille korrigierten Probanden durchzuführen.

Allerdings treten dabei oft hohe Restreflexe auf den Brillengläsern auf, die es der Videokamera erschweren, die Pupillen des Probanden aufzufinden. Ein weiterer Nachteil ist der eingeschränkte Messbereich eines Photorefraktometers hinsichtlich Pupillendurchmesser und sphärischer Refraktion. Aberrationen höherer Ordnung, besonders die sphärische Aberration, steigen mit zunehmender Pupillengröße und machen die Messung sphärischer Refraktionen unzuverlässig. Je größer die Pupille ist, desto kleiner ist der sphärische Messbereich. Außerdem kann die Blickrichtung des Probanden zu Problemen führen. Sobald nicht in Richtung Videokamera geschaut wird, werden beide Augen unter verschiedenen Winkeln refraktiert und es können hohe, astigmatische Messwerte bei einem Auge auftreten, die beim Blick geradeaus nicht gemessen werden und deren Ursache der Astigmatismus schiefer Bündel ist (Schaeffel et al. 2007).

2.2 Akkommodation

Der Begriff Akkommodation beschreibt den Vorgang der Brechwertänderung der Augenlinse, welcher für ein scharfes Sehen in unterschiedlichen Entfernungen ausgeführt wird. Dabei unterscheidet man zwischen Fern- und Nahakkommodation. Bei der Fernakkommodation verringert sich der Brechwert der Linse und weiter entfernte Objektpunkte werden auf der Netzhaut scharf abgebildet. Die Nahakkommodation beschreibt hingegen die Erhöhung des Brechwertes der Augenlinse, wodurch näher gelegene Objektpunkte scharf auf der Netzhaut abgebildet werden (Dietze et al. 2008; Diepes 2004).

Beim Blick in die Nähe bewirkt die Zunahme der Linsenbrechkraft ein positiveres Refraktionsdefizit RD und hinsichtlich der Messung mit dem Photorefraktometer bedeutet dies, dass die gemessene Refraktion negativer wird. Beim Blick in die Ferne ist dies gerade umgekehrt. Bei der Messung der Refraktion mit einem Photorefraktometer eines Probanden, der in der Nähe etwas fixiert und somit akkommodiert, sind die Refraktionswerte deshalb weniger positiv, sondern negativer im Vergleich zu den Refraktionswerten, die beim Blick in die Ferne bestimmt

werden. Schaut beispielsweise ein für die Ferne auskorrigierter Proband (Refraktion = 0,00 dpt) in die Nähe, nimmt seine Linsenbrechkraft zu, ein positives RD entsteht und eine negative Refraktion (Refraktion < 0,00 dpt) wird vom Photorefraktometer gemessen.

Nachfolgend werden die wichtigsten Begriffe der Akkommodation, die bei den Messungen mit einem Photorefraktometer eine wichtige Rolle spielen, erklärt:

Der **Fernpunkt (punctum remotum) R** ist der Objektpunkt, der bei maximal entspannter Fernakkommodation (Augenlinse hat geringstmöglichen Brechwert), auf der Netzhaut scharf abgebildet wird. Dessen zugehöriger, gemessener Abstand vom objektseitigen Hauptpunkt des Auges ist der **Fernpunkt Abstand a_R** (m) und dessen Kehrwert (dpt) ist die **Fernpunktrefraktion A_R** .

Der **Nahpunkt (punctum proximum) P** ist der Objektpunkt, der bei maximal angespannter Nahakkommodation (Augenlinse hat größtmöglichen Brechwert), auf der Netzhaut scharf abgebildet wird. Dessen zugehöriger, gemessener Abstand vom objektseitigen Hauptpunkt des Auges ist der **Nahpunkt Abstand a_P** (m) und dessen Kehrwert (dpt) ist die **Nahpunktrefraktion A_P** .

Der **Einstellpunkt E** ist der Objektpunkt zwischen Fern- und Nahpunkt, auf den akkommodiert wird und der beim vorliegenden Akkommodationszustand scharf auf der Netzhaut abgebildet wird. Dessen zugehöriger, gemessener Abstand vom objektseitigen Hauptpunkt des Auges ist die **Einstellentfernung a_E** (m) und dessen Kehrwert (dpt) ist die **Einstellpunktrefraktion A_E** .

Akkommodationsgebiet/ -bereich: Bereich zwischen Fernpunkt R und Nahpunkt P, in dem Objektpunkte durch Akkommodation auf der Netzhaut abgebildet werden können.

Akkommodationsbedarf: Kehrwert des gemessenen Objektabstandes (m) vom objektseitigen Hauptpunkt des Auges (bei Korrektur mit Brillenglas: Abstand des Bildes).

Akkommodationsaufwand ΔD : Brechwertzuwachs eines Auges bei der Einstellung vom Fernpunkt R auf einen anderen Einstellpunkt E.

Maximaler Akkommodationsaufwand ΔD_{\max} : Brechwertzuwachs eines Auges bei der Einstellung vom Fernpunkt R auf den Nahpunkt P.

Akkommodationserfolg ΔA : Differenz zwischen Fernpunktrefraktion A_R und Einstellpunktrefraktion A_E (Korrektion mit Brille muss berücksichtigt werden).

Maximaler Akkommodationserfolg ΔA_{\max} , Akkommodationsbreite: Differenz zwischen Fernpunktrefraktion A_R und Nahpunktrefraktion A_P .

Es ist wichtig, dass die beiden Begriffe Akkommodationsaufwand und -erfolg nicht gleichgesetzt bzw. verwechselt werden. Der Akkommodationserfolg stellt die Auswirkung des Akkommodationsaufwandes im Außenraum dar. Akkommodationsaufwand und -erfolg weisen bei höheren Refraktionswerten, die mit Brille korrigiert sind, einen deutlichen Unterschied auf. Brillenglaskorrigierte Myope haben einen größeren, brillenglaskorrigierte Hyperope dagegen einen kleineren Akkommodationserfolg als Emmetrope. Das bedeutet, dass das brillenglaskorrigierte hyperope Auge, um den gleichen Akkommodationserfolg wie ein brillenglaskorrigiertes myopes Auge oder emmetropes Auge zu erzielen, einen höheren Akkommodationsaufwand hat. Ursache dafür ist einerseits die erhöhte Schärfentiefe bei Myopen und die Bildvergrößerung des Systems Brillenglas (Pluslinse) - hyperopes Auge (negatives RD) bzw. die Bildverkleinerung des Systems Brillenglas (Minuslinse) - myopes Auge (positives RD) (Dietze et al. 2008; Lachenmayr 2016).

Akkommodationsdefizit (lag of accommodation): Unterschied zwischen Akkommodationsbedarf und Einstellpunktrefraktion, Einstellpunktrefraktion ist geringer als Akkommodationsbedarf.

Akkommodationsüberschuss (lead of accommodation): Unterschied zwischen Akkommodationsbedarf und Einstellpunktrefraktion, Einstellpunktrefraktion ist höher als Akkommodationsbedarf.

Das Akkommodationsdefizit ist umso geringer, je geringer die Schärfentiefe und je feiner und kontrastreicher die Objektdetails, also je höher die Visusanforderung, sind. Bei sehr geringen Visusanforderungen an das visuelle System kann

das zu fixierende Objekt bereits mit weniger betriebenem Aufwand gut erkannt werden und es muss weniger akkommodiert werden.

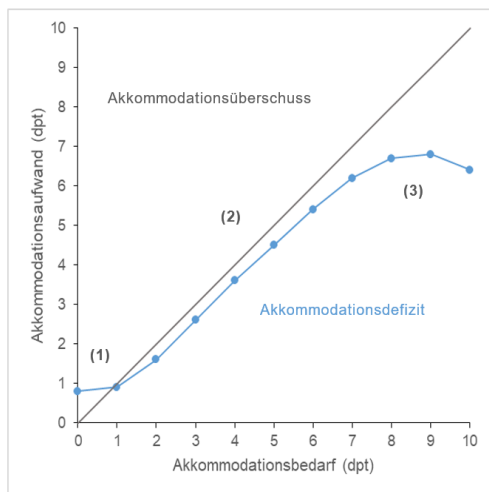


Abbildung 2 Akkommodationsaufwand in Abhängigkeit vom Akkommodationsbedarf (aus Dietze et al. 2008), Erläuterungen im Text

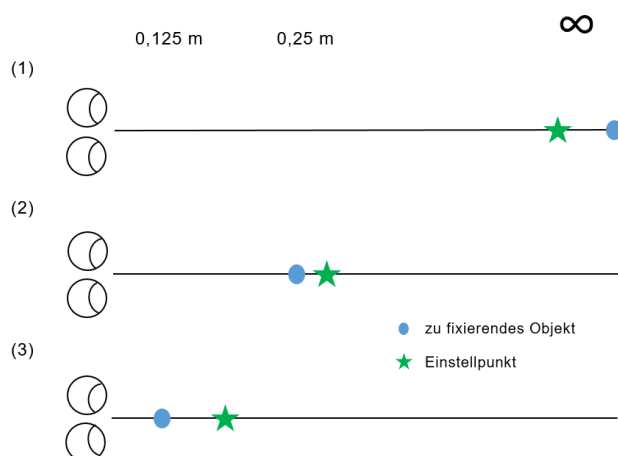


Abbildung 3 schematische Darstellung der Lage des Einstellpunktes in Abhängigkeit vom Akkommodationsbedarf (Abstand des zu fixierenden Objektes), Erläuterungen im Text

Abbildung 2 und Abbildung 3 zeigen jeweils, dass bei einem geringen Akkommodationsbedarf (<1,00 dpt) ein Akkommodationsüberschuss entsteht (1). Es wird auf einen näher liegenden Objektpunkt akkommodiert, also zu viel akkommodiert. Die Einstellpunktrefraktion und der Akkommodationsaufwand sind höher als der Akkommodationsbedarf. Bei einem Akkommodationsbedarf von mehr als 1,00 dpt

liegt ein Akkommodationsdefizit vor (2). Die Einstellpunktrefraktion und der Akkommodationsaufwand sind geringer als der Akkommodationsbedarf, der Einstellpunkt liegt weiter als das zu fixierende Objekt vom Auge entfernt. Hier wird hauptsächlich die Schärfentiefe verwendet, um den Objektpunkt scharf auf der Netzhaut abzubilden. Bei sehr nahen Objektpunkten wird zu wenig akkommodiert, der Akkommodationsaufwand und die Einstellpunktrefraktion sind viel geringer als der Akkommodationsbedarf und ein zunehmendes Akkommodationsdefizit entsteht (3).

Wird zu wenig akkommodiert (Akkommodationsdefizit), liegt die Schärfenebene des Bildes hinter der Netzhaut, was zum Fortschreiten der Myopie beitragen kann. Die Akkommodationsgenauigkeit kann verbessert werden, indem der Proband Plusgläser trägt. Somit kann die Progression der Kurzsichtigkeit bei Kindern durch das Tragen einer Lesebrille verlangsamt werden (Seidemann, Schaeffel 2003).

Die Schärfentiefe spielt beim Thema Akkommodation auch noch eine wichtige Rolle. Je kleiner die Pupille ist, desto größer ist die Schärfentiefe des Auges, die sich zum wirklichen Akkommodationserfolg addiert. Deshalb ist die Schärfentiefe bei der Naheinstellung größer, da es bei der Nahakkommodation auch zu einer Pupillenverengung, wie in Kapitel 2.4 beschrieben, kommt. Ältere Personen haben durchschnittlich kleinere Pupillen als jüngere, weswegen die Schärfentiefe ein Teil der reduzierten Akkommodationsfähigkeit ausgleichen kann (Dietze et al. 2008).

2.3 Akkommodationsruhelage

Fehlt dem Auge ein Akkommodationsreiz, stellt sich das Akkommodationssystem auf die Akkommodationsruhelage ein. Diese Ruhelage liegt ungefähr bei einem Akkommodationsaufwand zwischen 0,50 dpt und 2,00 dpt (\triangleq Entfernung von 2,00 m bis 0,50 m) und nicht bei dem Zustand der maximalen Fernakkommodation. Das heißt, dass bei ungünstigen Beleuchtungsverhältnissen, der Darbietung von Sehzeichen mit schlechtem Kontrast oder wenn das Auge keine Möglichkeit hat, ein geeignetes Objekt zu fixieren (z.B. Nebel, Regen, Schnee), die Einstellung der Akkommodation im Zwischenbereich zwischen maximal angespannter

und maximal entspannter Akkommodation stattfindet. Die Einstellung der Akkommodation ist sehr ungenau und nimmt längere Zeit in Anspruch (tonische Akkommodation). Diese Verlagerung des Fernpunktes vom Unendlichen in den Nahbereich wird auch als Nachtmyopie bezeichnet (Lachenmayr 2016).

2.4 Naheinstellungstrias

Der Ziliarmuskel (*M. ciliaris*), der neben den Zonulafasern, der Linsenkapsel, der Augenlinse und dem Glaskörper am Akkommodationsprozess beteiligt ist, wird durch den 3. Hirnnerv (*N. oculomotorius*) innerviert. Der *N. oculomotorius* innerviert außerdem den Pupillenschließmuskel (*M. sphincter pupillae*) und vier der sechs äußeren Augenmuskeln, darunter den inneren geraden (*M. rectus medialis*) und den unteren geraden (*M. rectus inferior*) Augenmuskel, welche am Konvergenzprozess beteiligt sind. Diese Muskeln sind durch einen neurophysiologischen Regelkreis so miteinander gekoppelt, dass beim Blick auf ein nahes Objekt (Nahakkommodation) unwillkürlich der Ziliarmuskel, der Pupillenschließmuskel, der innere gerade und der untere gerade Augenmuskel innerviert werden. Dies führt zur Akkommodation (Erhöhung der Brechkraft), zur Verengung der Pupille (Miosis, Erhöhung der Schärfentiefe) und zur akkommodativen Konvergenz. Dieser okulomotorische Regelkreis wird auch als Naheinstellungstrias bezeichnet. Außerdem ist über eine nervliche Verbindung im Mittelhirn die Reaktion beider Augen miteinander verbunden. Deshalb findet in beiden Augen eine Akkommodation statt, auch wenn nur ein Auge einen Akkommodationsreiz bekommt (Dietze et al. 2008).

3 Material und Methoden

In diesem Kapitel werden das verwendete Gerät, der PowerRef3 plusoptiX R09, die in der Literatur beschriebene Kalibrierung des Gerätes und der Ablauf sowie die Auswertung der durchgeführten Messungen näher beschrieben.

3.1 PowerRef3 plusoptiX R09

Im folgenden Kapitel wird der PowerRef3 plusoptiX R09 beschrieben. Dabei wird auf die Anwendung, die Einsatzgebiete, die Spezifikationen, den Aufbau, die Bedienung des Gerätes und die zusätzliche Lizenz CM genauer eingegangen.

3.1.1 Anwendung und Einsatzgebiete

Der PowerRef3 plusoptiX R09 ist der dritte Power-Refraktometer, der von der Firma Plusoptix, die ihren Hauptsitz in Nürnberg hat, 2010 auf dem Markt eingeführt wurde. Er funktioniert nach dem Prinzip der exzentrischen Photorefraktion, die bereits in Kapitel 2.1 erläutert wurde. Der erste Power-Refraktometer der Firma Plusoptix, PowerRefractor, wurde im Jahre 1998 zum ersten Mal vorgestellt und das Vorgängermodell des PowerRef3, PowerRef II, im Jahre 2006.

Der PowerRef3 plusoptiX R09 ermöglicht eine dynamische, binokulare Messung der sphärischen Akkommodation, der Blickrichtung und des Pupillendurchmessers in einem weiten Adaptationsbereich. Mit dem Photorefraktometer kann der Zusammenhang zwischen Vergenz (Blickwinkel), Pupillendurchmesser und Akkommodation ermittelt werden. Ebenso kann die Akkommodationsgeschwindigkeit und die Akkommodationsbreite gemessen werden und die periphere Refraktion durch Veränderung der Blickrichtung bestimmt werden (Plusoptix GmbH 2017). Außerdem kann das Messgerät die Pupillendistanz (PD) und die Abweichung des Hornhautreflexes (erster Purkinjereflex) zur Pupillenmitte ermitteln, woraus der Blickwinkel bestimmt wird. Ist die Abweichung des Hornhautreflexes zur Pupillenmitte auf dem rechten und linken Auge nicht symmetrisch, liegt eine Phorie vor. Generell können die Messungen mit und ohne Brille durchgeführt werden. Der Photorefraktometer wird in Augenkliniken, in der refraktiven Chirurgie und bei Forschungen, die sich hauptsächlich mit dem Thema Akkommodation befassen, eingesetzt.

3.1.2 Spezifikationen

Mit dem PowerRef3 plusoptiX R09 können sowohl monokulare als auch binokulare Messungen durchgeführt werden. Dabei wird immer nur in einem Meridian, dem vertikalen Pupillenmeridian, die sphärische Refraktion objektiv bestimmt. Bei anderen Geräten der Firma Plusoptix, wie dem Vision Screener und dem Pediatric Autorefractor, die zum Screening eingesetzt werden, werden sowohl die Sphäre als auch der Zylinder und dessen Achslage zu einem Zeitpunkt bestimmt. Da der PowerRef3 plusoptiX R09 allerdings nicht für Screenings eingesetzt wird, sondern hauptsächlich Verwendung in Studien findet, ist die Messung mehrerer Meridiane nicht sinnvoll, da schnelle Veränderungen des Pupillendurchmessers, des Blickwinkels und der Akkommodation gemessen werden sollen. Diese Veränderungen werden in Abhängigkeit von der Zeit bestimmt. Bei der Messung mehrerer Meridiane mit dem PowerRef3 plusoptiX R09 könnten viel weniger Messungen pro Sekunde als bei der Messung nur eines Meridians gemacht werden.

Es gibt jedoch eine Möglichkeit auch mit dem PowerRef3 plusoptiX R09 sowohl die Sphäre, den Zylinder als auch die Achse zu bestimmen. Dazu wird nicht die normalerweise auf dem PowerRef3 plusoptiX R09 laufende Lizenz R, sondern die Lizenz CM verwendet, die für Messungen mit dem Pediatric Autorefractor plusoptiX A09 entwickelt wurde. Weitere Informationen zu dieser zusätzlichen Lizenz CM sind dem Kapitel 3.1.5 zu entnehmen. Alle anderen Kapitel beziehen sich auf Messungen mit dem PowerRef3 plusoptiX R09 mit der Lizenz R.

Der sphärische Messbereich des Photorefraktometers liegt zwischen +5,00 dpt und -7,00 dpt und die Refraktion kann auf 0,01 dpt genau bestimmt werden. Liegt die Refraktion des Probanden außerhalb dieses Bereiches, kann die sphärische Refraktion mit dem PowerRef3 plusoptiX R09 zwar gemessen werden, die Messwerte sind allerdings fehlerbehaftet und nicht zuverlässig. Auch der Pupillendurchmesser darf 4,00 mm nicht unterschreiten oder 8,00 mm überschreiten, damit der schon beschriebene sphärische Messbereich überhaupt gemessen werden kann. Denn der sphärische Messbereich wird mit zunehmendem Pupillendurchmesser kleiner, da die sphärische Aberration zunimmt. Deshalb sind Messungen bei weitgetropften Probanden problematisch (Schaeffel et al. 2007).

Der Pupillendurchmesser wird in 0,10 mm Schritten angegeben und kann mit einem Fehler von $\pm 10\%$, bei der Einhaltung der angegebenen Messentfernung zwischen dem Auge des Probanden und der Kamera von $1,00\text{ m} \pm 5,00\text{ cm}$, gemessen werden. Die Pupillendistanz wird in 1,00 mm Schritten angegeben und wird auch mit einer Genauigkeit von $\pm 10\%$ gemessen. Wird die Entfernung von genau 1,00 m eingehalten, kann bei den Distanzmessungen von einem Fehler von $\pm 0,30\text{ mm}$ ausgegangen werden (Stirnadel, 2017/2018). Eine Messung dauert 0,02 s und somit werden 50 Messungen pro Sekunde durchgeführt. In Tabelle 1 sind alle Messbereiche, -details und -vorgaben des PowerRef3 plusoptiX R09 (Lizenz R) kurz zusammengefasst.

Tabelle 1 Messbereiche, -details und -vorgaben des PowerRef3 plusoptiX R09 (Lizenz R) (Plusoptix GmbH 2016)

Sphärischer Messbereich	+5,00 dpt / -7,00 dpt in 0,01 dpt Schritten
Pupillendurchmesser	4,00 mm - 8,00 mm in 0,10 mm Schritten $\pm 10\%$
Pupillendistanz (PD)	mm in 1,00 mm Schritten $\pm 10\%$
Zeit pro Messung	0,02 s, 50 Messungen pro Sekunde
Messentfernung	1,00 m ($\pm 5,00\text{ cm}$)

Bei Betrieb oder bei der Lagerung des PowerRef3 plusoptiX R09 müssen bestimmte Umweltsanforderungen bezüglich Temperatur und Luftfeuchtigkeit vorliegen, die in Tabelle 2 aufgeführt sind.

Tabelle 2 Umweltsanforderungen des PowerRef3 plusoptiX R09 (Plusoptix GmbH 2016)

Temperatur	in Betrieb	10 °C - 35 °C
	Lagerung	0 °C - 50 °C
Luftfeuchtigkeit	in Betrieb	20 % - 80 %
	Lagerung	10 % - 85 %

3.1.3 Aufbau des Gerätes

Der Aufbau (Abbildung 4) besteht aus einem Hubtisch auf Rollen, auf dem die einzelnen Messbestandteile angebracht sind. Dazu gehört die Kamera PowerRef3 mit der Infrarotlichtquelle, die mit der Basisstation plusoptiX R09 verbunden ist, eine Laufschiene mit Kameraadapter, ein Spiegelapparat und eine Kinn- und Stirnstütze. Außerdem ist die Basisstation plusoptiX R09 mit einem Monitor, einer Tastatur und einer Maus verbunden. Für den Anschluss von Tastatur, Maus und

zusätzlichen USB-Sticks, sind vier USB-Anschlüsse vom Typ A am plusoptiX R09 vorhanden. Der Monitor wird mit einem VGA Kabel mit der Basisstation verbunden (Abbildung 5). Der Spiegelapparat enthält zwei verschiedene Spiegel: ein Ablenkspiegel (unten) und ein Infrarotspiegel (oben), der Infrarotlicht reflektiert. Die Kombination aus diesen beiden Spiegeln lässt einerseits eine freie Sicht für den Probanden auf hinter dem Spiegelapparat variabel platzierbare Fixationsmarken zu (Abbildung 4: roter Pfeil). Andererseits ermöglicht der Spiegelapparat die Ablenkung und Reflexion des Infrarotlichtes vom PowerRef3 ausgehend in Richtung Auge und wieder zurück. Sowohl die Höhe des Hubtisches als auch der Abstand zwischen Kinn- und Stirnstütze kann individuell auf den Probanden eingestellt werden. Anders als der Pediatric Autorefractor ist der PowerRef3 plusoptiX R09 allerdings nicht für Kinder ab dem 6. Lebensmonat geeignet, da der Kopf des Probanden auf jeden Fall in der Kinnstütze liegen muss. Beim Aufbau ist zu beachten, dass die Messentfernung (Abbildung 4: blauer Pfeil) 1,00 m beträgt, damit die in Kapitel 3.1.2 beschriebenen Messbereiche gemessen werden können.

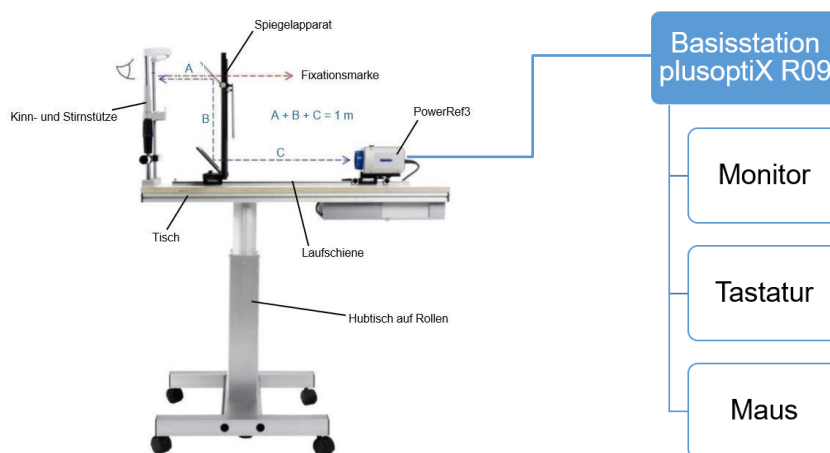


Abbildung 4 Typischer Aufbau für Messungen mit dem PowerRef3 plusoptiX R09 (Plusoptix GmbH 2016), Erläuterungen im Text



Abbildung 5 Anschlüsse des plusoptiX R09 (Plusoptix GmbH 2016), Erläuterungen im Text

3.1.4 Bedienung

Die nachfolgenden Kapitel 3.1.4.1 bis 3.1.4.5 beschäftigen sich mit der Bedienung des Photorefraktometers PowerRef3 plusoptiX R09 (Lizenz R). Folgende Fragen sollen dabei beantwortet werden: Wie ist das Menü der Software aufgebaut? Wie schließe ich den Photorefraktometer an? Wie schalte ich ihn ein und wieder aus? Wo kann ich Einstellungen verändern? Wie führe ich eine Messung Schritt für Schritt durch? Welche Statusmeldungen und welche praktischen Tipps bei der Verwendung des Messgerätes gibt es? Und wie sieht das Datenformat der Messwerte aus?

3.1.4.1 Aufbau des Softwaremenüs

Im folgenden Abschnitt der Arbeit ist der Aufbau des Softwaremenüs der Lizenz R schematisch dargestellt und die einzelnen Rubriken sind aufgeführt. Dabei werden verschiedene Symbole verwendet. Es gibt die Hauptrubriken Binokular, Einstellungen und Bedienungsanleitung (fett gedruckt). Diese weisen teilweise Unterrubriken auf, die mit dem Symbol ► gekennzeichnet sind. Überschriften in den Haupt- und Unterrubriken sind mit dem Symbol → versehen. Sobald der Untersucher selbst etwas eintragen und auswählen kann, wird im Schema das Symbol ►► verwendet. Wenn nur etwas eingetragen werden kann, ist das Feld mit dem Symbol ◀◀ versehen. Felder, bei denen man zwischen verschiedenen Möglichkeiten auswählen kann (Schaltfläche), sind mit dem Symbol ▼ versehen. Felder auf die geklickt werden kann (Button), um beispielsweise ein weiteres Fenster zu öffnen oder um etwas zu starten, zu stoppen oder zu bestätigen, sind mit dem Symbol – gekennzeichnet. Das Symbol ✓ wird in dem Schema verwendet, sobald es die Möglichkeit gibt, eine Markierung zu setzen. Ein Schieberegler weist das Symbol ↔ auf. Bei grau hinterlegten Rubriken sollen die Einstellungen nicht geändert werden.

Binokular

- | | |
|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| → 1) Logfile | ▶ Name eintragen/Messung auswählen |
| → 2) Programm | Auswahlfenster: <ul style="list-style-type: none"> ▼ Standard ▼ Standard_5sec ▼ Standard_10sec ▼ Standard_30sec |
| → 3) Kamera einschalten | – Button: Kamera einschalten |
| → 4) Helligkeitssteuerung | ✓ Markierung setzen: Automatische Helligkeit
oder
↔ Schieberegler einstellen (0 % - 100 %) |
| → 5) Messung | – Button: Start
– Button: Stop |
| → 6) Grafik | Auswahlfenster: <ul style="list-style-type: none"> ▼ Refraction_and_Gaze ▼ Refraction_and_Gaze_2 ▼ ... (siehe Tabelle 3) – Button: Start |
| → 7) Videosteuerung | – Button: ⏮ (Zurückspulen)
– Button: ▶ (Play in Echtzeit)
– Button: ▶ (Einzelbilder)
– Button: Video laden
– Button: Video speichern
✓ Markierung setzen: Video speichern |

Einstellungen

- | | | |
|-------------|--------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ▶ Allgemein | → A) Farbdarstellung Videobild | ✓ Markierung setzen: Standardeinstellung (Graustufen)
oder
✓ Markierung setzen: Falschfarben |
| ▶ System | → A) Sprache | Auswahlfenster: <ul style="list-style-type: none"> ▼ deutsch (<i>Cave: Einstellung lassen</i>) |
| | → B) Lizenz | ⏮ Aktivierungscode (für Lizenzwechsel (R/CM))
– Button: OK |
| | → C) Tastatur | Auswahlfenster: <ul style="list-style-type: none"> ▼ de Germany (<i>Cave: Einstellung lassen</i>) |
| | → D) Datumformat | Auswahlfenster: <ul style="list-style-type: none"> ▼ TT.MM.JJJJ (<i>Cave: Einstellung lassen</i>) |
| | → E) Datum und Uhrzeit | – Button: Einstellungen |

Bedienungsanleitung

3.1.4.2 Anschließen, Ein- und Ausschalten, Einstellungen

Bevor der Photorefraktometer PowerRef3 plusoptiX R09 verwendet werden kann, muss die Basisstation plusoptiX R09 mit einem Monitor der Auflösung 1024 x 768 Pixel (VGA Kabel), einer Tastatur und einer Maus (USB Kabel) verbunden sein. Sowohl der Monitor als auch die Basisstation plusoptiX R09 müssen an das Stromnetz (110-220V) angeschlossen werden. Außerdem muss die Kamera PowerRef3 mit der Basisstation plusoptiX R09 verbunden sein. Die Verbindung der einzelnen Bestandteile und die einzelnen Anschlüsse des plusoptiX R09 sind aus Abbildung 4 und Abbildung 5 zu entnehmen.

Beim *Einschalten* des Gerätes werden zuerst der Monitor und anschließend die Basisstation plusoptiX R09 (Abbildung 5: ON/OFF) eingeschalten. Die Software wird gestartet. Erst nach vollständigem Laden der Software wird der beiliegende USB-Stick eingesteckt, dieser wird automatisch erkannt. Auf dem USB-Stick müssen die Messprogramme (pox- und poe-Format) und Dateien für die grafische Auswertung (sh-Format) enthalten sein, damit er für Messungen mit dem PowerRef3 plusoptiX R09 verwendet werden kann.

Es wird empfohlen beim erstmaligen Öffnen des Programmes die Einstellungen zu überprüfen. Dazu muss die Hauptrubrik Einstellungen geöffnet werden. Unter der Unterrubrik Allgemein kann man für die Farbdarstellung des Videobildes zwischen der *Standardeinstellung (Graustufen)* und *Falschfarben* wählen, wie in Abbildung 6 zu sehen.

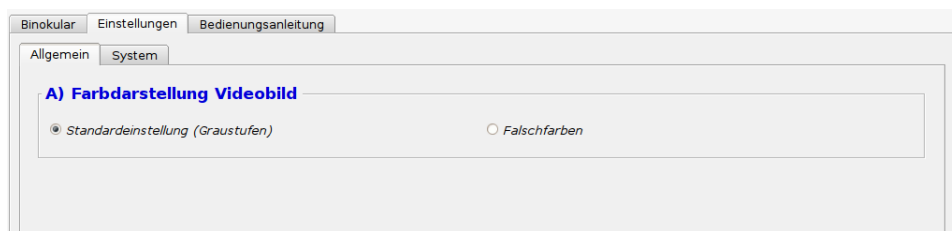


Abbildung 6 Screenshot der PowerRef3 plusoptiX R09 Benutzeroberfläche (Lizenz R) der Hauptrubrik Einstellungen, Unterrubrik Allgemein

Für Systemeinstellungen muss die Unterrubrik System gewählt werden. Es folgt eine Sicherheitsabfrage, die mit „Yes“ oder „Ja“ bestätigt werden muss, um Veränderungen vornehmen zu können. Es kann die Sprache, die Lizenz, die Tastatur,

das Datumsformat, das Datum und die Uhrzeit verändert werden. Abbildung 7 zeigt einen Screenshot der Rubrik Einstellungen, System. Es sollen nur Änderungen in den Systemeinstellungen gemacht werden, wenn die Einstellungen denen aus Abbildung 7 nicht entsprechen.

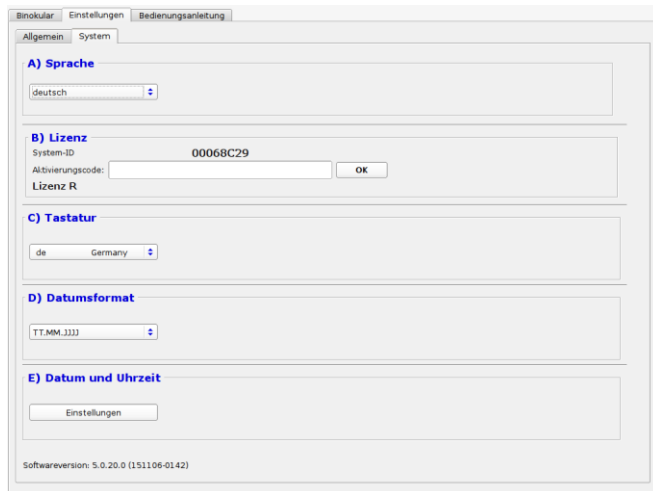


Abbildung 7 Screenshot der PowerRef3 plusoptiX R09 Benutzeroberfläche (Lizenz R) der Hauptrubrik Einstellungen, Unterrubrik System

Die Bedienungsanleitung kann unter der Hauptrubrik Bedienungsanleitung geöffnet und eingesehen werden.

Beim *Ausschalten* des Gerätes muss zuerst die Basisstation plusoptiX R09 und anschließend der Monitor ausgeschaltet werden. Der Schalter der Basisstation blinkt so lange auf, bis das Programm komplett heruntergefahren ist. Erst dann sollte der USB-Stick entfernt werden. Falls er schon früher entfernt wird, können Messdaten verloren gehen. Über Nacht sollte das Gerät vom Stromnetz entfernt werden, um einen Kurzschluss, der einen Brand auslösen könnte, zu vermeiden.

3.1.4.3 Durchführung einer Messung

Abbildung 8 zeigt einen Screenshot der PowerRef3 plusoptiX R09 Benutzeroberfläche (Lizenz R) der Hauptrubrik Binokular. Unter dieser Rubrik kann eine Messung durchgeführt werden.

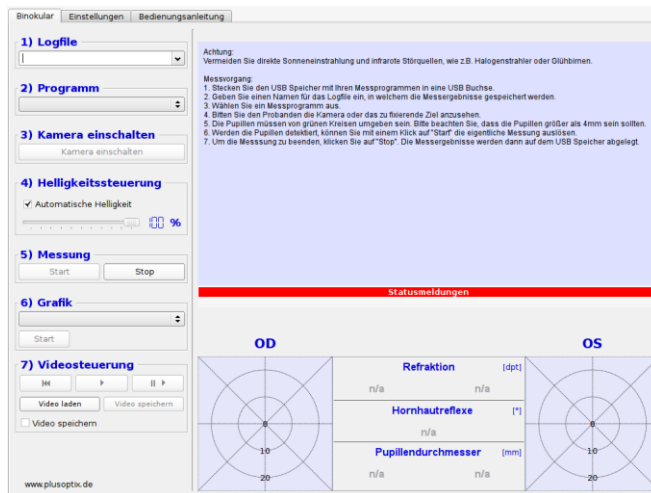


Abbildung 8 Screenshot der PowerRef3 plusoptiX R09 Benutzeroberfläche (Lizenz R) der Haupttribrik Binokular

Zur Durchführung einer Messung müssen folgende Schritte nacheinander befolgt werden:

1. Der Proband wird unter *Logfile* angelegt. Dabei sollte ein sinnvoller Name ohne Leerzeichen und gegebenenfalls mit verschiedenen Parametern gewählt werden, damit im Anschluss an die Messung die Dateien auf dem USB-Speicher leichter gefunden werden. Das Datum und die Uhrzeit der Messung wird automatisch in dem Dateinamen ergänzt.
2. Ein *Programm* wird ausgewählt (Standard – unbegrenzte Messdauer, Standard_5/10/30sec – Messdauer von 5/10/30 Sekunden).
3. Der Proband wird in die Kinn- und Stirnstütze positioniert und eingewiesen.
4. Der Raum wird abgedunkelt. Es soll direktes Sonnen- und Halogenlicht vermieden werden.
5. Wenn ein Video gespeichert werden soll, wird ein Häkchen bei *Video speichern* gesetzt.
6. Die *Kamera* wird *eingeschalten* und es wird darauf geachtet, dass beide Pupillen erkannt werden (grüne Umrandung) und die Augen des Probanden sich innerhalb des weißen Rechteckes des Monitors befinden. Falls die Pupillen nicht erkannt werden (rote Umrandung), sind die Pupillen zu klein oder zu groß ($8,00 \text{ mm} < \text{Pupille} < 4,00 \text{ mm}$) und die Helligkeit der Infrarot-LED muss manuell reguliert werden (*Helligkeitssteuerung*) bzw. die Raumhelligkeit muss angepasst werden. Außerdem kann eine Pupille auch nicht

erkannt werden, falls zu hohe Reflexe von anderen Gegenständen im Raum oder einer Brille vorhanden sind, die Pupillen eine geringe oder auch unterschiedliche Helligkeit aufweisen, das Augenlid, Wimpern oder ein Schatten die Pupillen bedecken oder die Messentfernung zwischen dem Auge des Probanden und der Kamera von $1,00\text{ m} \pm 5,00\text{ cm}$ nicht eingehalten wird (weißes Quadrat um Pupille).

7. Die Messung wird gestartet und anschließend gestoppt. Nur das Programm Standard muss gestoppt werden. Alle anderen Programme werden nach 5, 10 oder 30 Sekunden automatisch beendet.

Damit die Messergebnisse als Grafik angezeigt werden, müssen diese Schritte *nach* einer Messung durchgeführt werden:

8. Unter *Logfile* wird die Datei der Messung mit Nummer ausgewählt, die angezeigt werden soll.
9. Die *Grafik* wird ausgewählt und gestartet. Die Grafik wird anschließend angezeigt. Es sollte berücksichtigt werden, dass die angezeigten Graphen von der Software automatisch interpoliert sind. Es gibt verschiedene Möglichkeiten der grafischen Darstellung, die in Tabelle 3 aufgeführt sind.

Tabelle 3 Möglichkeiten der grafischen Darstellung mit dem PowerRef3 plusoptiX R09 und deren Beschreibung

grafische Darstellungsmöglichkeiten	Beschreibung
Refraction_and_Gaze	Refraktion (dpt) und horizontaler Blickwinkel (°) in Abhängigkeit von der Zeit (s) (2 Messwerte in 1 Diagramm)
Refraction_and_Gaze_2	Refraktion (dpt) und horizontaler Blickwinkel (°) in Abhängigkeit von der Zeit (s) (2 Messwerte in 2 Diagrammen)
Pupil_and_Refraction	Pupillengröße (mm) und Refraktion (dpt) in Abhängigkeit von der Zeit (s) (2 Messwerte in 1 Diagramm)
Pupil_and_Refraction_2	Pupillengröße (mm) und Refraktion (dpt) in Abhängigkeit von der Zeit (s) (2 Messwerte in 2 Diagrammen)
Refraction_and_Gaze_Pupils	Refraktion (dpt), horizontaler und vertikaler Blickwinkel (°) und Pupillengröße (mm) in Abhängigkeit von der Zeit (s) (3 Messwerte in 3 Diagrammen)
Gaze_X	horizontaler Blickwinkel (°) in Abhängigkeit von der Zeit (s)
Gaze_Chart	Vertikaler Blickwinkel (°) in Abhängigkeit vom horizontalen Blickwinkel (°)
Mono_Ref_Pupil	Refraktion (dpt) und Pupillengröße (mm) in Abhängigkeit von der Zeit (s) (2 Messwerte in 1 Diagramm), rechtes und linkes Auge in einer Farbe
Monocular_Refraction	Refraktion (dpt) in Abhängigkeit von der Zeit (s) (2 Messwerte in 1 Diagramm), rechtes und linkes Auge in einer Farbe

Um grafische Darstellungen der Messergebnisse zu speichern, wird wie folgt vorgegangen:

10. Eine Grafik mit dem Zusatz *_pdf* wird ausgewählt und gestartet. Die Grafik wird als PDF angezeigt.
11. Das *Druck-Symbol* wird geklickt. Ein Fenster öffnet sich und der *Print-Button* wird geklickt. Abbildung 9 und Abbildung 10 zeigen jeweils einen Screenshot der Benutzeroberfläche. Auf Abbildung 9 ist die geöffnete pdf-Datei mit Druck-Symbol und auf Abbildung 10 das geöffnete Print-Fenster mit Print-Button zu sehen. Die PDF-Datei wird auf dem USB-Stick gespeichert. Der USB-Stick kann an einem anderen Computer angeschlossen werden, um von dort die gespeicherten PDF-Dateien auszudrucken.

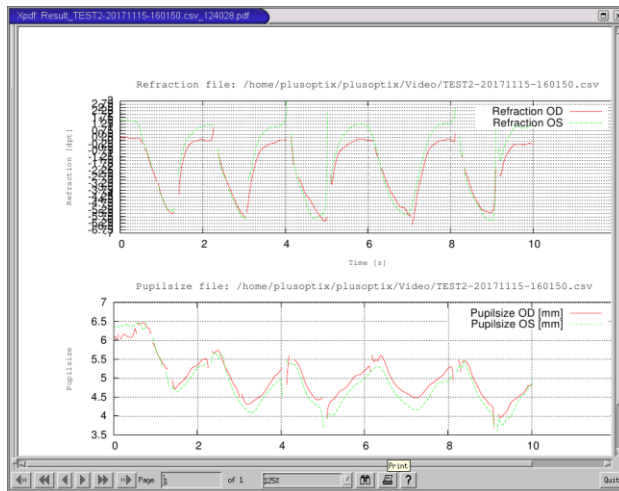


Abbildung 9 Screenshot der PowerRef3 plusoptiX R09 Benutzeroberfläche (Lizenz R) mit einer geöffneten pdf-Datei und Druck-Symbol (unten rechts)

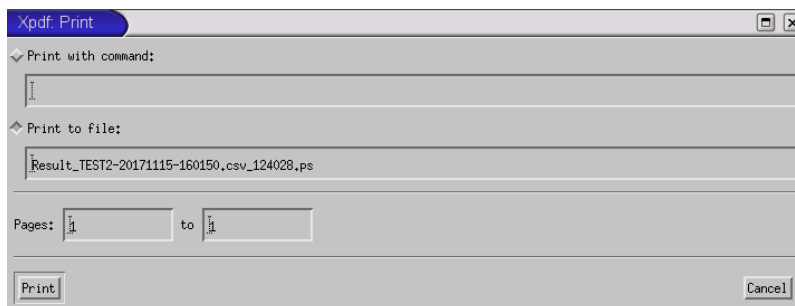


Abbildung 10 Screenshot des geöffneten Print-Fensters mit Print-Button (Lizenz R)

Um ein Video zu laden und anzuzeigen, werden folgende Schritte befolgt:

12. Falls das Häkchen *Video speichern* gesetzt wurde, kann das Video gleich im Anschluss an die Messung in Echtzeit (▶) oder in Einzelbildern (|| ▶) angeschaut und wieder zurückgespult (⏮) werden.
13. Alle auf dem USB-Stick gespeicherten und vom PowerRef3 plusoptiX R09 aufgenommenen Videos (vid-Format), können über Video laden angezeigt und abgespielt werden. Dazu muss ein Video aus der Liste der verfügbaren Videos ausgewählt und geöffnet werden. Abbildung 11 zeigt ein Screenshot der Benutzeroberfläche beim Laden eines Videos. Das Video beginnt mit dem Start der Messung und endet nach mindestens 360 einzelnen Aufnahmen. Das heißt, dass das Video eine Mindestlänge von 7,2 Sekunden hat, aber auch länger andauern kann. Die Aufzeichnung der Messdaten erfolgt allerdings bis zum Ende der Messung.

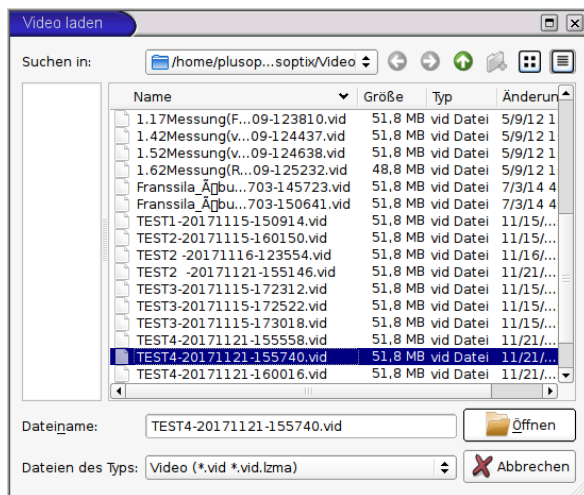


Abbildung 11 Screenshot des geöffneten Video laden-Fensters (Lizenz R)

3.1.4.4 Statusmeldungen und praktische Tipps

Es kann sein, dass während der Verwendung des Photorefraktometers mit der Lizenz R Statusmeldungen unter dem Bild der Aufnahme, in Rot angezeigt werden (Abbildung 8). Diese können darauf hinweisen, dass die „Pupille zu groß“ oder die „Pupille zu klein“ ist und nicht innerhalb des Messbereiches von 4,00 mm bis 8,00 mm liegt. Deshalb muss, wie schon in Kapitel 3.1.4.3 beschrieben, die Helligkeit reguliert werden, indem man die Raumhelligkeit anpasst oder die *Helligkeitssteuerung* manuell reguliert. Bei einer zu großen Pupille muss die Helligkeit erhöht und bei einer zu kleinen Pupille muss die Helligkeit reduziert werden.

Falls die sphärische Refraktion außerhalb des Messbereiches von +5,00 dpt bis -7,00 dpt liegt („Ausserhalb Messbereich“), wird bei der Refraktion „Myopie“ oder „Hyperopie“ angezeigt. Der Messbereich kann mit maximal $\pm 3,00$ dpt erweitert werden, indem man dem Probanden Plus- oder Minusgläser vorhält. Es bietet sich an, dafür einen Wechselhalter/Abgleichflipper zu verwenden.

Eine weitere Statusmeldung kann „Infrarote Störstrahlung/Retinoskop wegen Blendung abgeschaltet“ sein. Diese Meldung tritt auf, wenn der infrarote Anteil im Umgebungslicht und die Durchschnittshelligkeit zu hoch sind. Deshalb soll während der Messung direktes Sonnen- und Halogenlicht vermieden werden.

Neben dem Speichern der grafischen Darstellungen als PDF und der Aufnahme der Messung als Video, können während der Messung oder auch im Anschluss Screenshots von der Benutzeroberfläche gemacht werden. Dazu muss die Tastenkombination `alt + F2` gedrückt werden. Der Screenshot wird im png-Format als Bild auf dem USB-Stick gespeichert.

Neben den von Plusoptix vordefinierten Messprogrammen und Möglichkeiten der grafischen Darstellung können weitere Programme selbst programmiert werden. Dazu wird ein Text Editor benötigt. Es ist bereits ein qemacs Editor auf der Basisstation plusoptiX R09 installiert und kann dafür verwendet werden. Weitere Informationen zur Programmierung mit qemacs findet man in der Bedienungsanleitung des PowerRef3 plusoptiX R09 (Plusoptix GmbH 2016) und online unter <https://bellard.org/qemacs/qe-doc.html>.

Außerdem können externe Events eingespielt und bis zu 256 (0x0 bis 0xFF), mit der Messung in Verbindung stehende, Events in der logfile-Datei, die alle gemessenen Werte enthält, notiert werden. Beispielsweise kann eine bewegliche Fixationsmarke als externes Event eingesetzt werden. Dann wird deren Abstand zum Auge zum jeweiligen Messzeitpunkt gemessen und diese Werte werden dann in die logfile-Datei eingetragen. Weitere Informationen dazu sind auch aus der Bedienungsanleitung des PowerRef3 plusoptiX R09 (Plusoptix GmbH 2016) zu entnehmen.

3.1.4.5 Datenformat der Messwerte

Alle Messwerte einer Messung werden automatisch auf dem USB-Stick im csv-Format gespeichert. Diese Werte können in eine Microsoft Excel Tabelle importiert werden, um eigene Auswertungen der Messdaten durchzuführen und grafische Darstellungen zu erstellen. Zur Auswertung der einzelnen Messdaten bietet sich auch das Programm Gnuplot oder andere statistische Auswertungsprogramme an. Es ist zu beachten, dass die Messwerte vom rechten und linken Auge in der Tabelle vertauscht sind und alle Messwerte in der Punkt- und nicht in der Komma-Schreibweise dargestellt sind. Manche Werte sind als sehr große Zahlen aufgeführt, die ein 100000-faches des eigentlichen Messwertes sind. Die Werte müssen also erst konvertiert werden (Komma-Schreibweise, teilen durch 100000), bevor eine Auswertung gemacht werden kann. Tabelle 4 zeigt die Werte

und deren Beschreibung, die bei jeder Messung bestimmt und im csv-Format auf dem USB-Stick gespeichert werden. Ein kurzer Ausschnitt aus einer Excel-Tabelle mit importierten Daten einer Messung befindet sich im Anhang.

Tabelle 4 Mit PowerRef3 plusoptiX R09 gemessene Werte und deren Beschreibung (Plusoptix GmbH 2016)

Wert	Beschreibung
Time [ms]	Zeitstempel der gemessenen Werte (alle 20 ms)
Segment	LED Segment
Distance() [m]	Historischer Wert, immer 0
Brightness() [%]	Helligkeit der Infrarot-LED in Prozent
PupilFound(L and R)	1: Pupille gefunden, 0: Pupille nicht gefunden
PupilSizeMM(L/R).X() [mm]	Pupillenweite des linken und rechten Auges in mm
PupilSizeMM(L/R).Y() [mm]	Pupillenhöhe des linken und rechten Auges in mm
PupilDiameterMM(L/R) [mm]	Pupillendurchmesser des linken und rechten Auges in mm
PupilBrightness(L/R) [DU]	Qualitative Pupillenhelligkeit des linken und rechten Auges, zwischen 0 und 255
PurkinjeSize(L/R).X() [px]	Horizontale Dimension des Purkinje Reflexes des linken und rechten Auges in Pixel
PurkinjeSize(L/R).Y() [px]	Vertikale Dimension des Purkinje Reflexes des linken und rechten Auges in Pixel
Decentration(L/R).X() [px]	Horizontaler Abstand des Purkinje Reflexes von der Pupillenmitte des linken und rechten Auges in Pixel
Decentration(L/R).Y() [px]	Vertikaler Abstand des Purkinje Reflexes von der Pupillenmitte des linken und rechten Auges in Pixel
Gaze(L/R).X() [°]	Horizontaler Blickwinkel des linken und rechten Auges in °
Gaze(L/R).Y() [°]	Vertikaler Blickwinkel des linken und rechten Auges in °
Refraction(L/R).Sphere() [dpt]	Gemessene sphärische Refraktion des linken und rechten Auges in Dioptrien
GetAverageRefraction(L/R).Contents()	Wert zwischen 0 und 10, der den aktuellen Stand der Mittelwertberechnung des Wertes GetAverageRefraction(L and R).Mean() [dpt] beschreibt
GetAverageRefraction(L/R).Mean() [dpt]	Mittelwert der sphärischen Refraktion der letzten 10 Aufnahmen in Dioptrien
GetAverageRefraction(L/R).StdDeviation() [dpt]	Standardabweichung der sphärischen Refraktion der letzten 10 Aufnahmen in Dioptrien
InterpupDist() [mm]	Pupillendistanz (PD) in mm
InterpupAngle() [°]	Kamerawinkel zur Horizontalen
Trigger	Trigger signal 0x0 → 0xFF, Anzahl der externen Events

Der Wert Segment gibt an, welches LED Segment an der Messung beteiligt war. Dies ist beim PowerRef3 immer das obere LED Segment, das SEG4 heißt und

dem vertikalen Meridian entspricht. Um die komplette Refraktion, bestehend aus Sphäre, Zylinder und Achse, bestimmen zu können, muss der Photorefraktometer, auch sechsarmiges Skiaskop genannt, sechs LED-Segmente aufweisen, die unter den Winkeln von 30°, 90° und 150° angeordnet sind (Gekeler et al. 1997). Der PowerRef3 weist auch alle sechs LED-Segmente auf. Allerdings wird nur ein Segment von der Software der Lizenz R angesteuert (SEG4). Um alle sechs LED-Segmente zu nutzen, wird eine andere Lizenz, die Lizenz CM, benötigt, die die Messung der Nahakkommodation aber nicht mehr ermöglicht. Diese Lizenz ist in Kapitel 3.1.5 ausführlich beschrieben. Zu Beginn der Messung bei 140 ms wird die Umgebungshelligkeit als achte Aufnahme bestimmt. Dann ist der Wert Segment nicht SEG4, sondern SEGsOFF. Ist die Umgebungshelligkeit zu hoch, wird die bereits erwähnte Meldung „*Infrarote Störstrahlung*“ angezeigt (Stirnadel, 2017/2018).

Nur wenn die Pupille erkannt wird, ist der Wert PupilFound eins, ansonsten null. Die Pupille wird während der Messung grün umrandet, sobald sie erkannt wird. Bei einer roten Umrandung, bei einem weißen Quadrat um die Pupille oder wenn überhaupt keine Umrandung angezeigt wird, wird die Pupille nicht detektiert. Beispielsweise gibt es beim Blinzeln des Probanden keine Umrandung der Pupille. Deshalb können keine Werte gemessen werden und die Werte PupilSizeMM, PupilDiameterMM, PupilBrightness, PurkinjeSize, Decentration und Gaze sind null. Der Wert Refraction.Sphere beträgt -100,00 dpt. Ist das Auge offen, aber die Pupille wird nicht erkannt, werden einige Werte, wie z.B. PupilSize, PupilDiameter und Gaze, gemessen und der Wert Refraction.Sphere beträgt wieder -100,00 dpt. Diese Werte können allerdings für die Auswertung nicht verwendet werden. Deshalb werden bei den grafischen Darstellungen des PowerRef3 plusoptiX R09 diese Messwerte auch nicht angezeigt und die Grafiken zeigen Lücken auf, sobald die Pupille nicht erkannt wurde. Daher ist es von Vorteil, wenn nur Messungen zur Auswertung verwendet werden, die keine oder nur wenige Lücken in der Grafik aufweisen und bei denen durchgehend die Pupillen mit einer grünen Umrandung angezeigt werden.

3.1.5 Weitere Lizenz CM

Wie bereits in Kapitel 3.1.2 und Kapitel 3.1.4.5 erwähnt, gibt es neben der eigentlichen Lizenz R auch noch die Lizenz CM. Diese Lizenz wird hauptsächlich für den Pediatric Autorefractor plusoptiX A09 verwendet. Sie kann aber auch bei Messungen mit dem PowerRef3 plusoptiX R09 eingesetzt werden. Der Pediatric Autorefractor plusoptiX A09 ist ein handgehaltener Autorefraktometer mit dem binokulare oder monokulare Messungen aus einer Entfernung von einem Meter und in weniger als einer Sekunde gemacht werden können. Dabei können auch Kinder ab dem 6. Lebensmonat vermessen werden. Wird die Lizenz CM allerdings in Kombination mit dem PowerRef3 verwendet, können damit Kleinkinder nicht vermessen werden, da der Kopf des Probanden auf jeden Fall in der Kinnstütze liegen muss. Wie bei Messungen mit dem PowerRef3 plusoptiX R09 können auch hiermit Messungen mit Brille und Kontaktlinsen durchgeführt werden.

Es werden die Refraktion, bestehend aus Sphäre, Zylinder und Achse, der Pupillendurchmesser, die Pupillendistanz und die Symmetrie der Hornhautreflexe bestimmt. Der Messbereich der Sphäre liegt, wie bei der Lizenz R, zwischen +5,00 dpt und -7,00 dpt, der Messbereich des Zylinders liegt zwischen +5,00 dpt und -7,00 dpt und der Messbereich der Achse zwischen 1 ° und 180 °. Auch hier dauert eine Messung 0,02 s, es werden also ebenso 50 Messungen pro Sekunde gemacht.

Die Messung ist gut für das Screening geeignet, da eine sehr schnelle und unkomplizierte Eingangsuntersuchung z.B. in Augenarztpraxen gemacht werden kann. Es können schon im Kindesalter Fehlsichtigkeiten, Astigmatismen, Anisometropien (Ungleichsichtigkeit), Anisokorien (Unterschied im Pupillendurchmesser) und Strabismen (Fehlstellung der Augen) aufgedeckt werden und Katarakte oder Hornhautnarben können mithilfe des Messbildes erkannt werden (Plusoptix 2017).

In den folgenden Kapiteln 3.1.5.1 bis 3.1.5.5 werden die Aktivierung der Lizenz, der Aufbau des Softwaremenüs dieser Lizenz, das Anschließen, Ein- und Ausschalten, mögliche Einstellungen, die Durchführung einer Messung und eventuell auftretende Statusmeldungen beschrieben.

3.1.5.1 Aktivierung der Lizenz

Um die Lizenz CM erstmalig zu aktivieren, muss zuerst das Gerät gestartet werden. Anschließend muss unter der Hauptrubrik Einstellungen die Unterrubrik System geöffnet werden (Abbildung 7). Nach der Sicherheitsabfrage kann unter B) Lizenz der Aktivierungscode für die Lizenz CM eingegeben werden:

Lizenz CM: 0600114D5CBC

Nach der Eingabe muss das Gerät neu gestartet werden. Treten nach dem Neustarten Fehlermeldungen auf, muss das Gerät erneut gestartet werden bis diese Meldungen nicht mehr erscheinen. Eventuell ist mehrmaliges Neustarten notwendig. Falls wieder die eigentliche Lizenz R des PowerRef3 plusoptiX R09 verwendet werden möchte, muss auch hier wieder ein Aktivierungscode unter der gleichen Rubrik eingegeben werden (Stirnadel, 2017/2018). Dieser lautet:

Lizenz R: 06000268C279

3.1.5.2 Aufbau des Softwaremenüs

Das Softwaremenü der Lizenz CM hat einen ähnlichen Aufbau wie das Softwaremenü der Lizenz R (Kapitel 3.1.4.1). Im folgenden Abschnitt ist das Menü schematisch dargestellt und die einzelnen Haupt- und Unterrubriken sind aufgeführt. Dabei werden die gleichen Symbole wie bei dem Aufbau des Softwaremenüs der Lizenz R verwendet.

Binokular

- 1) Patientendaten
 - Button: Nächster Patient
 - ▶ Nachname
 - ▶ Vorname
 - ▶ Geburtsdatum (JJJ-MM-TT/TT.MM.JJJ)
 - Auswahlfenster - Geschlecht:
 - ▼ männlich
 - ▼ weiblich
 - ▶ ID
- 2) Messergebnis
 - Meldung: *Messung beendet / Messabbruch*
- 3) Dokumentation
 - Button: Messprotokoll
 - Button: Etikett
 - Button: Screenshot
- 4) Videosteuerung
 - Button: ⏮ (Zurückspulen)
 - Button: ▶ (Play in Echtzeit)
 - Button: || ▶ (Einzelbilder)
 - Button: Video laden
 - Button: Video speichern

OD (gleich wie Binokular)

OS (gleich wie Binokular)

Einstellungen

- ▶ Allgemein
 - A) Zylinder
 - ✓ Markierung setzen: Minuszylinder oder
 - ✓ Markierung setzen: Pluszylinder
 - B) Lautstärke
 - ↔ Schieberegler einstellen (0-100 %)
 - Button: Ton abspielen
 - C) Farbdarstellung Videobild
 - ✓ Markierung setzen: Standardeinstellung (Graustufen) oder
 - ✓ Markierung setzen: Falschfarben
- ▶ Drucker
 - A) Screenshot
 - Auswahlfenster – Aktueller Drucker:
 - ▼ PDF
 - ▼ ... (falls anderer Drucker installiert)
 - Button: Netzwerkdrucker installieren
 - B) Etikett
 - Auswahlfenster – Aktueller Drucker:
 - ▼ PDF
 - ▼ ... (falls anderer Drucker installiert)
- ▶ GDT
 - A) Netzwerkeinstellungen
 - (Cave: *Einstellung lassen*)
 - B) Ausgabeformat
 - (Cave: *Einstellung lassen*)

► System	→ A) Sprache	Auswahlfenster: ▼ deutsch (<i>Cave: Einstellung lassen</i>)
	→ B) Lizenz	◀ Aktivierungscode (für Lizenzwechsel (R/CM)) – Button: OK
	→ C) Tastatur	Auswahlfenster: ▼ de Germany (<i>Cave: Einstellung lassen</i>)
	→ D) Datumformat	Auswahlfenster: ▼ TT.MM.JJJJ (<i>Cave: Einstellung lassen</i>)
	→ E) Datum und Uhrzeit	– Button: Einstellungen
Bedienungsanleitung		

3.1.5.3 Anschließen, Ein- und Ausschalten, Einstellungen

Bei der Verwendung der Lizenz CM werden dieselben Schritte beim Anschließen, Einschalten und Ausschalten, wie in Kapitel 3.1.4.2 für die Lizenz R beschrieben, durchgeführt.

Nach dem Laden der Software ist es allerdings nicht notwendig den beiliegenden USB-Stick einzustecken. Es wird nur ein USB-Stick benötigt, falls Messergebnisse als Screenshot (jpg- oder pdf-Format) oder als Etikett (pdf-Format) gespeichert werden sollen. Dieser USB-Stick muss keine besonderen Dateien enthalten, um verwendet werden zu können. Falls ein USB-Stick verwendet wird, sollte dieser allerdings erst nach dem vollständigen Laden der Software eingesteckt und erst nach dem vollständigen Herunterfahren des Programmes wieder entfernt werden.

Auch bei dieser Lizenz wird empfohlen beim erstmaligen Öffnen des Programmes die Einstellungen zu überprüfen. Dazu muss die Hauptrubrik Einstellungen geöffnet werden. Mit Ausnahme der Grundeinstellungen (Allgemein) erscheint zunächst eine Sicherheitsabfrage, die mit „Yes“ oder „Ja“ bestätigt werden muss, um Veränderungen vornehmen zu können.

Unter der Unterrubrik Allgemein kann man, wie in Abbildung 12 zu sehen, entscheiden, ob die Messergebnisse des Astigmatismus in der *Minus-* oder *Pluszylinderschreibweise* angezeigt werden sollen und man kann für die Farbdarstellung des Videobildes zwischen der *Standardeinstellung (Graustufen)* und

Falschfarben wählen. Außerdem gibt es die Möglichkeit die *Lautstärke* einzustellen und einen *Ton abzuspielen*. Verwendet man allerdings die Lizenz CM in Kombination mit dem PowerRef3 plusoptiX R09, ist es weder möglich die Lautstärke der sogenannten Warbletöne zu verändern, noch sie zu hören und abzuspielen, da keine Lautsprecher in die Hardware verbaut sind. Diese Warbletöne ertönen bei der Messung mit dem Pediatric Autorefractor plusoptiX A09 und sind dazu da, um die Aufmerksamkeit der zu messenden Probanden (hauptsächlich Kinder) auf die Kamera zu lenken.

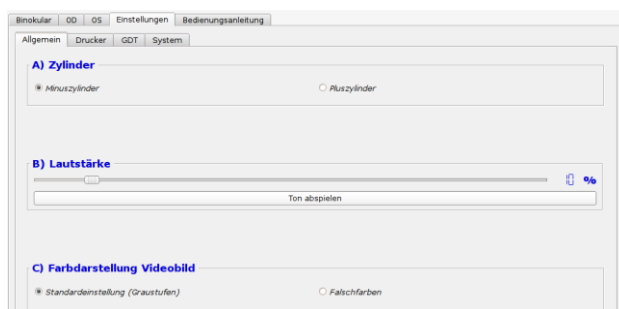


Abbildung 12 Screenshot der PowerRef3 plusoptiX R09 Benutzeroberfläche (Lizenz CM) der Hauptrubrik Einstellungen, Unterrubrik Allgemein

Um einen Drucker zu installieren bzw. auszuwählen, muss die Unterrubrik Drucker geöffnet werden (Abbildung 13). Ist ein entsprechender Drucker installiert, kann ein Screenshot oder ein Etikett gedruckt werden. Der Drucker kann entweder direkt über USB oder über das Netzwerk, falls ein Praxisnetzwerk mit der Basisstation plusoptiX R09 verbunden ist, angeschlossen werden. Dieser über das Netzwerk verbundene Drucker, kann über *Netzwerkdrucker installieren* ausgewählt werden. Direkt über USB angeschlossene Drucker werden nach dem Anschließen und Einschalten direkt installiert, falls sie zu den Druckern gehören, die vom System unterstützt werden.

Bei der Verwendung der Lizenz CM kann die Basisstation plusoptiX R09 mit einem RJ-45 Anschluss (Abbildung 5: ganz links) über eine GDT-Schnittstelle an ein verwendetes Netzwerk angeschlossen werden. Diese Funktion verwenden hauptsächlich Praxen, die ihr Praxisnetzwerk, das unter anderem Patientendaten enthält, mit dem Autorefraktometer verbinden möchten. Für den Anschluss muss die Firma angesprochen werden, die das Netzwerk eingerichtet hat.

Ein PDF-Drucker ist bereits auf der Basisstation installiert. Ist der PDF-Drucker als aktueller Drucker ausgewählt, muss ein USB-Stick eingesteckt werden. Auf diesem wird dann automatisch das entsprechende Dokument im pdf-Format in dem Ordner „pdf“ gespeichert. Dazu muss nach einer erfolgreichen Messung auf *Etikett* oder *Screenshot* geklickt werden. Das gespeicherte Dokument kann dann an einem anderen Computer mit angeschlossenem Drucker ausgedruckt werden. Mit der Tastenkombination alt + F2 können wie bei der Lizenz R während oder nach der Messung Screenshots von der Benutzeroberfläche gemacht werden, die im png-Format als Bild auf dem USB-Stick gespeichert werden.



Abbildung 13 Screenshot der PowerRef3 plusoptiX R09 Benutzeroberfläche (Lizenz CM) der Hauptrubrik Einstellungen, Unterrubrik Drucker

Unter der Unterrubrik GDT können Einstellungen getroffen werden, falls der plusoptiX R09 mit einem vorhandenen Netzwerk verbunden ist. Da dies nur in Praxen verwendet wird, um Patientendaten vom Netzwerk auf das plusoptiX R09 System zu übermitteln, wird in dieser Arbeit nicht näher darauf eingegangen. Weitere Informationen dazu sind der Bedienungsanleitung des Pediatric Autorefractor plusoptiX A09 (Plusoptix GmbH 2016) zu entnehmen.

Unter der Unterrubrik System, die gleich aufgebaut ist wie die Unterrubrik System der Lizenz R (Abbildung 7), kann die Sprache, die Lizenz, die Tastatur, das Datumsformat, das Datum und die Uhrzeit verändert werden. Es sollen nur Änderungen in den Systemeinstellungen gemacht werden, wenn die Einstellungen denen aus Abbildung 7 nicht entsprechen. Wenn man von der Lizenz R auf die Lizenz CM oder umgekehrt wechseln möchte, muss dort der Aktivierungscode (Kapitel 3.1.5.1) unter Lizenz eingegeben werden.

Die Bedienungsanleitung kann unter der Hauptrubrik Bedienungsanleitung geöffnet und eingesehen werden.

3.1.5.4 Durchführung einer Messung

Abbildung 14 zeigt einen Screenshot der PowerRef3 plusoptiX R09 Benutzeroberfläche (Lizenz CM) der Hauptrubrik Binokular. Unter dieser Rubrik kann eine Messung durchgeführt werden.

The screenshot displays the software interface for the PowerRef3 plusoptiX R09. It is divided into several sections:

- 1) Patientendaten:** Fields for 'Nachname', 'Vorname', 'Geburtsdatum', 'Geschlecht', and 'ID'.
- 2) Messergebnis:** A placeholder for the measurement result.
- 3) Dokumentation:** Buttons for 'Messprotokoll', 'Etikett', and 'Screenshots'.
- 4) Videosteuerung:** Buttons for 'Video laden' and 'Video speichern'.
- Bedienungsanleitung:** A section with instructions and a 'Messvorgang' (Measurement Process) description.
- Statusmeldungen:** A red bar indicating the status of the measurement.
- Measurement Data Table:** A table with columns for 'OD' (Right Eye) and 'OS' (Left Eye). The table includes fields for 'Refraktion' (n/a), 'Hornhautreflexe' (n/a), 'Pupillendurchmesser' (n/a), and 'Pupillendistanz' (n/a).

Abbildung 14 Screenshot der PowerRef3 plusoptiX R09 Benutzeroberfläche (Lizenz CM) der Hauptrubrik Binokular

Zur Durchführung einer Messung müssen folgende Schritte nacheinander befolgt werden:

1. Der Proband wird unter *Patientendaten* angelegt. Entweder müssen die Patientendaten (Nachname, Vorname, Geburtsdatum, Geschlecht) oder Patientendaten und ID oder ID und Geburtsdatum angegeben werden, damit eine Messung durchgeführt werden kann. Werden keine Daten eingegeben, setzt sich der Name der später speicherbaren PDF-Datei nicht aus dem Vor- und Nachname und der Uhrzeit zusammen, sondern aus *Anonymous* und der Uhrzeit. Dann ist keine genaue Zuordnung mehr möglich.
2. Der Proband wird in die Kinn- und Stirnstütze positioniert und eingewiesen.
3. Der Raum wird abgedunkelt. Es soll direktes Sonnen- und Halogenlicht vermieden werden.

4. Da sich im Gegensatz zur Kamera des plusoptiX A09 an der Kamera PowerRef3 kein Auslöser befindet, wird die Messung mit der Maus gestartet. Hierzu wird ein extra Menü mit der Tastenkombination Strg + D (Abbildung 15) aufgerufen.

Wird bei diesem extra Menü der Button *Video information* geklickt, öffnet sich ein Fenster, in dem Informationen zum Video aufgeführt sind. Klickt man auf die Buttons *Play test sound*, *Systemtest* oder *Select Stylesheet*, geschieht nichts, da die Buttons bei dem plusoptiX R09 in Kombination mit der Lizenz CM keine Funktion haben. Während der Messung werden unter *framecount* die Anzahl der Einzelmessungen gezählt und es wird angezeigt, welches LED-Segment gerade misst (z.B. SEG1, SEG2,...). Unter *Average image brightness* oder abgekürzt *avBright* wird die durchschnittliche Bildhelligkeit in Prozent angegeben.

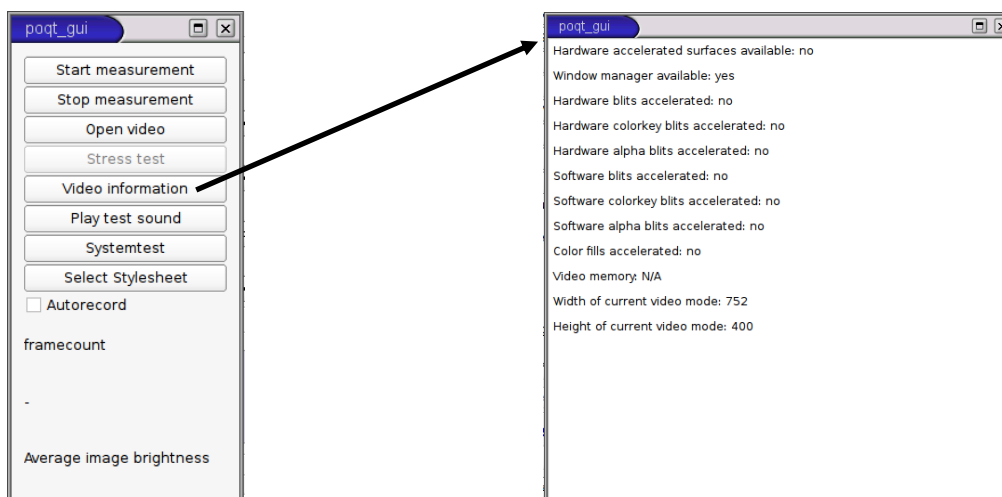


Abbildung 15 Screenshot des Menüs zur Auslösung der Messung (Lizenz CM) und aufrufbares Video information - Fenster

5. Damit im Nachhinein das Messvideo abgespielt und gespeichert werden kann, wird ein Häkchen bei *Autorecord* gesetzt.
6. Die Kamera wird gestartet, sobald der Button *Start measurement* gedrückt wird. Befinden sich die Augen des Probanden innerhalb des weißen Rechteckes des Monitors und werden die Pupillen erkannt (grüne Umrandung), beginnt die Messung automatisch und dauert etwa eine Sekunde an. Die Messung kann also gleich nach dem Klicken des Buttons beginnen, sobald die Voraussetzungen gegeben sind.

7. Die Messwerte werden zwischen den Blickkarten angezeigt und im Feld *Messergebnis* am linken Bildschirmrand erscheint die Meldung *Messung beendet* (Abbildung 16). Es werden die Refraktion, die Symmetrie der Hornhautreflexe ($^{\circ}$), deren Position im Verhältnis zur Pupillenmitte auf der Blickkarte angezeigt wird, der Pupillendurchmesser (in 0,10 mm Schritten) und die Pupillendistanz (in 1,00 mm Schritten) gemessen. Bei der Refraktion wird die Sphäre in 0,25 dpt Schritten, der Zylinder in 0,25 dpt Schritten und die Achse in 1° Schritten angegeben.

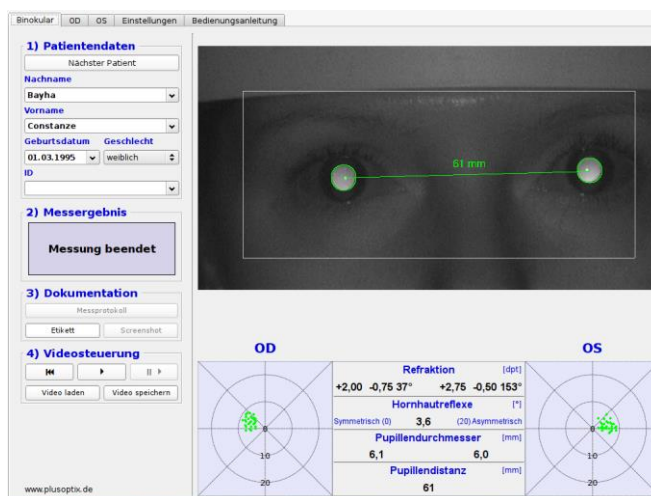


Abbildung 16 Screenshot der PowerRef3 plusoptiX R09 Benutzeroberfläche (Lizenz CM) der Haupttribrik Binokular nach erfolgreicher Messung

8. Findet die Kamera die Pupillen innerhalb 20 Sekunden nicht, wird die Messung automatisch beendet oder sie kann mit *Stop measurement* beendet werden. Die Meldung *Messabbruch* wird angezeigt.

Erscheint die Meldung *Messabbruch* und werden keine Messwerte angezeigt, kann dies verschiedene Ursachen haben. Wenn die Messentfernung zwischen dem Auge des Probanden und der Kamera nicht $1,00\text{ m} \pm 5,00\text{ cm}$ beträgt, erscheint ein weißes Quadrat um die Pupille. Sind die Pupillen zu groß oder zu klein ($8,00\text{ mm} < \text{Pupille} < 4,00\text{ mm}$), erscheint eine rote Umrandung und die Raumhelligkeit muss verändert werden. Die Messung wird zudem abgebrochen, falls Wimpern, das Augenlid oder ein Schatten die Pupille verdecken oder zu hohe Reflexe von anderen Gegenständen im Raum oder einer Brille vorhanden sind.

Falls die Pupillen einen geringen oder unterschiedlichen Helligkeitsverlauf aufweisen, was auf eine Medientrübung, eine Hornhautverletzung, einen Fremdkörper oder andere Ursachen hindeutet, erscheint auch am linken Bildschirmrand die Meldung *Messabbruch*. Liegt eine Asymmetrie der Hornhautreflexe vor, die $\geq 10^\circ$ ist und die Hornhautreflexe auf der einen Blickkarte als rote Punkte und auf der anderen Blickkarte als grüne Punkte angezeigt werden, wird ebenso die Messung abgebrochen.

Liegt eine Asymmetrie der Hornhautreflexe vor, müssen die Augen einzeln unter der Haupttribrik OD oder OS vermessen werden. Die Messung erfolgt wie die binokulare Messung, allerdings muss das Partnerauge bei der Messung abgedeckt werden. Findet das Messgerät zwei Pupillen, wird die Messung abgebrochen, die Meldung *Messabbruch* wird angezeigt und die Statusmeldung „*Monokular: OD bzw. OS abdecken!*“ erscheint.

Schaut der Proband während der Messung in die Nähe, weisen die Hornhautreflexe einen größeren Wert als 10° auf. Die Blickkarte zeigt die Hornhautreflexe als rote Punkte an, die Messung wird automatisch beendet, die Meldung *Messabbruch* erscheint und keine Messwerte können angezeigt werden. Somit kann mit dieser Lizenz CM die Refraktion bei der Nahakkommodation binokular als auch monokular nicht bestimmt werden.

Damit die Messergebnisse auf dem USB-Stick gespeichert werden, muss *nach* einer Messung, wie bereits in Kapitel 3.1.5.3 beschrieben, dieser Schritt durchgeführt werden:

9. Es wird auf den Button *Etikett* oder *Screenshot* (Dokumentation) geklickt oder die Tastenkombination alt + F2 wird gedrückt, um die Messergebnisse im pdf- oder png-Format auf dem USB-Stick zu speichern. Um eines dieser Dokumente zu einem späteren Zeitpunkt noch einmal auf einem USB-Stick speichern zu können und auszudrucken, müssen zur Datenarchivierung Videos gespeichert werden.

Um ein Video anzuzeigen, zu speichern und zu laden, werden folgende Schritte befolgt:

10. Falls das Häkchen *Autorecord* gesetzt wurde, kann das Video gleich im Anschluss an die Messung in Echtzeit (▶) oder in Einzelbildern (II ▶) angeschaut und wieder zurückgespult (⏮) werden.
11. Wird auf den Button *Video speichern* geklickt, wird das Messvideo im vid-Format auf dem angeschlossenen USB-Stick gespeichert, wenn genügend Speicherplatz vorhanden ist.
12. Alle auf dem USB-Stick gespeicherten und vom PowerRef3 plusoptiX R09 aufgenommenen Videos (vid-Format), können über *Video laden* oder *Open video* im extra Menü angezeigt und abgespielt werden. Dazu muss ein Video aus der Liste der verfügbaren Videos ausgewählt und geöffnet werden.
13. Vor der Messung eines neuen Probanden werden die eingetragenen Patientendaten mit dem Button *Nächster Patient* gelöscht und die Daten des neuen Probanden können eingegeben werden.

3.1.5.5 Statusmeldungen

Es kann sein, dass während der Verwendung des Photorefraktometers mit der Lizenz CM Statusmeldungen unter dem Bild der Aufnahme, in Rot angezeigt werden (Abbildung 14).

Es gibt folgende Statusmeldungen bei der Lizenz CM, die auch bei der Lizenz R auftreten: „*Pupille zu groß*“, „*Pupille zu klein*“, „*Ausserhalb Messbereich*“, „*Myopie*“, „*Hyperopie*“ und „*Infrarote Störstrahlung*“. Diese Statusmeldungen haben dieselben Ursachen und müssen auf die gleiche Art und Weise, wie in Kapitel 3.1.4.4 beschrieben, behoben werden. Bei einer zu großen oder zu kleinen Pupille kann allerdings bei der Lizenz CM nur die Raumhelligkeit angepasst werden (zu große Pupille heller, zu kleine Pupille dunkler).

Eine weitere Statusmeldung, die nur bei der Lizenz CM auftritt, ist „*Pupillen nicht gefunden*“. Sie weist darauf hin, dass die Pupillen innerhalb von 20 Sekunden nicht gefunden wurden und deshalb die Messung automatisch beendet wurde. Der Messvorgang muss wiederholt werden.

Außerdem gibt es noch die bereits in Kapitel 3.1.5.4 beschriebene Meldung „*Monokular: OD bzw. OS abdecken!*“. Im monokularen Modus kann nur ein Auge gemessen werden, das Partnerauge muss abgedeckt sein.

3.2 Kalibrierung

Es ist sinnvoll bevor eine Versuchsreihe durchgeführt wird, eine Kalibrierung bzw. Eichung am Gerät vorzunehmen. Die Eichung sollte bei jedem Probanden individuell durchgeführt werden, wenn man die Probanden sehr genau vermessen möchte (z.B. für Akkommodationsstudie). Jedes Auge weist nämliche individuelle Unterschiede in der Reflektivität des Fundus auf und außerdem sind mehrere Schichten und nicht nur eine klar definierte Schicht an der Reflektion des Lichtes beteiligt. Die Netzhaut ist kein perfekter diffuser Reflektor und individuell deutlich unterschiedlich (Schaeffel, Weiss 2002).

In der Literatur wird für die Kalibrierung des Photorefraktometers eine Möglichkeit beschrieben, die nachfolgend erklärt ist.

Bei dieser Kalibrierung werden dem Probanden Linsen unterschiedlicher Stärke vor ein Auge gehalten und die gemessene Refraktion mit der erwarteten Refraktion verglichen. Mithilfe dieser Messung kann der Umrechnungsfaktor von erwarteter auf gemessene Refraktion für jeden Probanden bestimmt werden. Dazu wird auf der Abszisse die Stärke der Linse oder die erwartete Refraktion (\triangleq „minus vorgehaltenes Korrektionsglas“) und auf der Ordinate die mit dem PowerRef3 plusoptiX R09 im vertikalen Meridian gemessene Refraktion aufgetragen. Um zu vermeiden, dass der Proband durch die vorgehaltenen Linsen akkommodiert und sich dadurch die Fehlsichtigkeitswerte verfälschen, wird dem Probanden zusätzlich ein infrarotdurchlässiger Filter vor dieses Auge gehalten. Dieser Filter ermöglicht problemlos die Messung der Refraktion mit dem Photorefraktometer. Der Proband kann allerdings mit dem abgedeckten Auge nichts sehen. Das andere Auge bleibt offen, bekommt die Aufgabe ein bestimmtes Blickziel zu fixieren und wird zur Kontrolle mitgemessen. Sobald sich die Refraktion dieses Auges nicht verändert, kann davon ausgegangen werden, dass die Refraktionsänderungen des abgedeckten Auges ausschließlich durch die vorgehaltenen Linsen und nicht durch Akkommodation entstehen (Schaeffel, Weiss 2002).

3.3 Ablauf und Auswertung der Messungen

Um den PowerRef3 plusoptiX R09 besser kennenzulernen, wurden verschiedene Messungen durchgeführt, die nachfolgend beschrieben sind. In Kapitel 3.3.6 wird der Ablauf und die Auswertung der ausführlich mit fünf Probanden durchgeführten Messung zur Kalibrierung beschrieben. Vor der Durchführung aller Messungen wurde den Probanden das Gerät erklärt und sie wurden in die verschiedenen Messungen eingewiesen.

3.3.1 Messungen ohne und mit Korrektur

Es wurden sowohl Messungen mit als auch ohne Korrektur durchgeführt. Zur Korrektur des ametropen Probanden, wurde die Brille des Probanden oder Kontaktlinsen verwendet. Ob ein Unterschied zwischen der Messung mit Brille und Kontaktlinse besteht, sollte herausgefunden werden, indem die gleiche Messung bei einem Probanden mit Brille oder Kontaktlinsen durchgeführt wurde. Dabei musste der Hornhautscheitelabstand (HSA) der Brille und der Kontaktlinse berücksichtigt werden und der Scheitelbrechwert der Kontaktlinse ($S'_{\infty, \text{neu}}$) bei gegebenem Scheitelbrechwert der Brille ($S'_{\infty, \text{alt}}$) oder umgekehrt mit der folgenden Formel 3.1 berechnet werden:

$$S'_{\infty, \text{neu}} = \frac{S'_{\infty, \text{alt}}}{1 + (HSA_{\text{neu}} - HSA_{\text{alt}}) * S'_{\infty, \text{alt}}} \quad (3.1)$$

3.3.2 Messungen in verschiedenen Einstellentfernungen

Beim Probanden wurden Messungen in unterschiedlichen Einstellentfernungen durchgeführt. Zum einen wurde die Fernpunktrefraktion bestimmt, wobei der Proband die Aufgabe hatte in die Ferne, auf das Ende des Raumes, das in einer Entfernung von ca. 8,00 m lag, zu blicken. Zum anderen wurden verschiedene Einstellpunktrefraktionen gemessen, während der Proband auf unterschiedliche Entfernungen akkommodierte. Zur Fixation in diesen Entfernungen wurden dem Probanden jeweils drei unterschiedlich große Sehzeichen (Landoltringe) dargeboten. Es können aber auch andere Sehzeichen verwendet werden, die sich in ihrer Größe, ihrer Gestalt und in ihrem Kontrast unterscheiden. Da die Sehzeichen unterschiedlich groß waren, konnte auch die Akkommodation in Abhängigkeit von

der Sehzeichengröße und somit der Visusanforderung untersucht werden. Der Abstand der Sehzeichen vom Auge wurde über eine weitere Laufschiene mit einer Länge von 1,00 m und einem Schiebereiter individuell verändert (Abbildung 17).

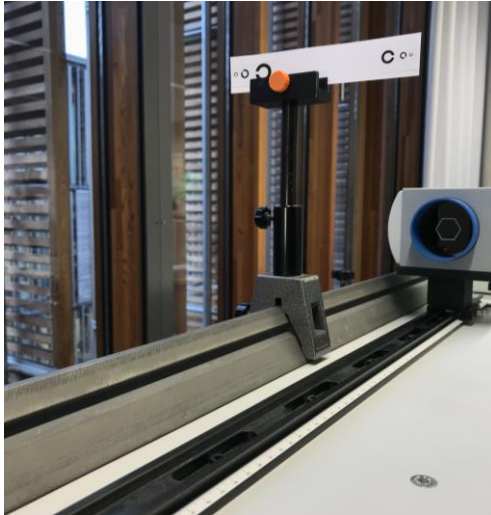


Abbildung 17 Zusätzliche Laufschiene im Aufbau mit Schiebereiter und Sehzeichen

Zusätzlich wurden am Ende des Raumes drei Sehzeichen unterschiedlicher Größe dargeboten, die der Proband bei der Messung der Fernpunktrefraktion fixieren sollte.

3.3.3 Messungen bei Änderung der Einstellentfernung

Neben der Messung der Refraktion für verschiedene Einstellentfernungen, hatte der Proband während der nächsten Messung die Aufgabe, einen ständigen Wechsel des Blickes von der Ferne in die Nähe und umgekehrt vorzunehmen. Er konnte dabei die Frequenz entweder selbst bestimmen oder man konnte ihm diese vorgeben. Eine weitere Möglichkeit, um herauszufinden, welche Vorgänge bei der Nahfixation auftreten, ist der übergangslose bzw. gleitende Blick von der Ferne in die Nähe und umgekehrt. Hier hat der Proband nicht die Aufgabe zwischen Ferne und Nähe „hin- und herzuspringen“, sondern langsam eine imaginäre Fixationsmarke, die aus der Ferne auf ihn zukommt oder sich von ihm wegbewegt, mit den Augen zu verfolgen.

3.3.4 Messungen bei Akkommodationsruhelage

Um die Frage zu beantworten, welche Akkommodation sich einstellt, wenn der Sehreiz fehlt oder reduziert ist, wurde der Messraum so gut wie möglich abgedunkelt und dem Probanden wurde die Aufgabe gegeben, ganz entspannt in die Ferne zu schauen. Währenddessen wurde für 30 Sekunden lang die sphärische Refraktion bestimmt.

3.3.5 Messungen zur Reproduzierbarkeit

Wie gut die Reproduzierbarkeit des PowerRef3 plusoptiX R09 ist, wurde untersucht, indem die identische Messung am gleichen Probanden mehrmals durchgeführt wurde und die jeweiligen Messwerte miteinander verglichen wurden. Außerdem wurde ein Phantomauge verwendet, um die Wiederholbarkeit des Gerätes zu untersuchen.

3.3.6 Messungen zur Kalibrierung

Die Kalibrierung, wie in Kapitel 3.2 beschrieben, kann umgesetzt werden, indem dem Probanden ein infrarotdurchlässiger Filter und verschiedene Korrektionsgläser vor das eine Auge gehalten werden, der Proband mit dem anderen Auge in die Ferne schaut und beide Augen vermessen werden. Anschließend muss die erwartete mit der gemessenen Refraktion verglichen werden.

Diese Kalibrierung wurde mit fünf Probanden durchgeführt, deren durchschnittliches Alter bei $24,4 \pm 2,2$ Jahren lag. Die Probanden trugen während der gesamten Messung ihre eigene Brille, deren Werte in Tabelle 5 aufgeführt sind.

Tabelle 5 Brillenrefraktionswerte (Sphäre, Zylinder, Achse) der Probanden

Proband	Auge	Sphäre (dpt)	Zylinder (dpt)	Achse (°)
A	R	+2,50	-0,75	60
	L	+2,25	-0,75	120
B	R	+3,75	-0,50	30
	L	+5,00	-1,00	160
C	R	-3,50	-0,25	165
	L	-3,50	-0,25	40
D	R	-7,00	-1,00	16
	L	-7,00	-1,25	178
E	R	+0,25	-0,25	5
	L	+0,50	-0,25	155

Der Raum wurde vor den Messungen abgedunkelt, damit der Pupillendurchmesser des Probanden innerhalb des Messbereiches von 4,00 mm bis 8,00 mm lag. Bei allen Probanden, außer bei Proband B, wurde der Raum mit der Jalousie komplett abgedunkelt und die Wandbeleuchtung wurde auf 100 % eingestellt. Da die Pupillen des Probanden B sehr groß waren, wurde die Jalousie etwas geöffnet und die gesamte Raumbeleuchtung wurde auf 50 % eingestellt. Alle Messungen hatten eine Dauer von 5 Sekunden (Programm: Standard_5sec) und die Probanden wurden darauf hingewiesen während der Messung möglichst wenig zu blinzeln.

Zuerst wurde bei allen Probanden die Fernpunktrefraktion beider Augen bestimmt. Dabei hatten sie die Aufgabe in die Ferne, auf das Ende des Raumes, das in einer Entfernung von ca. 8,00 m lag, zu blicken und eine dort platzierte Fixationsmarke (Landoltring) zu fixieren. Bei allen weiteren Messungen befand sich vor dem rechten Auge des Probanden ein infrarotdurchlässiger Filter mit den Maßen 12,50 cm x 8,00 cm, der in einen Schiebereiter eingespannt wurde und sich etwa 5,00 cm vor dem Auge befand (Abbildung 18).

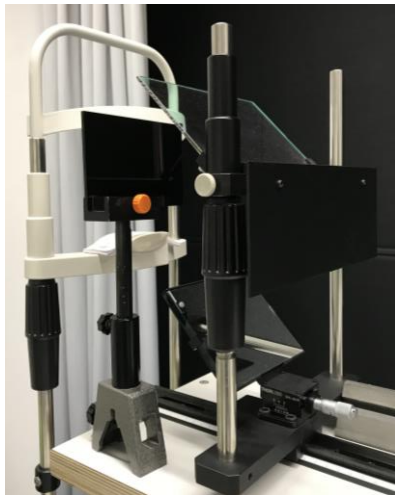


Abbildung 18 Position des infrarotdurchlässigen Filters vor dem rechten Auge des Probanden

Bei diesen weiteren Messungen hielt sich der Proband selbst Korrektionsgläser der Stärke +5,00 dpt bis -5,00 dpt, in 1,00 dpt Schritten, vor das eigene Brillenglas des rechten Auges. Er wurde aufgefordert auch während dieser Messung mit dem nicht abgedeckten, linken Auge in der Ferne den Landoltring zu fixieren. Es fanden bei jedem Probanden neben der Fernpunktrefraktionsbestimmung demnach noch weitere 11 Messungen statt, bei denen beide Augen vermessen wurden. Bei einer Messung wurde kein Glas ($\cong 0,00$ dpt) vorgehalten.

Zur Auswertung dieses Versuches wurden zuerst die Messwerte aller Messungen kontrolliert und nicht aussagekräftige Werte, die beim Blinzeln oder bei nicht aufgefundener Pupille entstanden sind, gelöscht. Sobald bei einem Auge der Wert PupilFound null war, wurden alle Messwerte zu diesem Messzeitpunkt gelöscht. Es wurden für beide Augen für alle Messungen die Mittelwerte und Standardabweichungen der sphärischen Refraktion, des Pupillendurchmesser und des horizontalen Blickwinkels bestimmt. Der jeweilige Mittelwert der sphärischen Fernpunktrefraktion des rechten Auges wurde von den Mittelwerten der sphärischen Refraktionswerte des rechten Auges der Messungen mit vorgehaltenem Korrektionsglas und infrarotdurchlässigem Filter abgezogen. Anschließend konnte die erwartete Refraktion, auf der Abszisse aufgetragen, mit der gemessenen Refraktion, auf der Ordinate aufgetragen, verglichen werden. Für jeden Probanden wurde der Zusammenhang bzw. Umrechnungsfaktor dieser beiden Refraktionen mithilfe einer linearen Regressionsgerade, der Form $y=b \cdot x+a$, und

der Berechnung des Quadrates des Pearsonschen Korrelationskoeffizienten R^2 bestimmt.

Die Messwerte des sehenden linken Auges dienen zur Kontrolle. Mit dem t-Test für abhängige Stichproben wurde überprüft, ob sich die Messwerte der Fernpunktrefraktion des rechten und linken Auges von den Messwerten mit vorgehaltenem Korrektionsglas und infrarotdurchlässigem Filter signifikant unterscheiden. Damit konnte festgestellt werden, ob das Korrektionsglas und der Filter Einfluss auf die sphärische Refraktion, den Pupillendurchmesser und den horizontalen Blickwinkel des rechten und linken Auges haben. Dazu wurden zuerst die Differenzen der Wertepaare d (bei Fernpunktrefraktion und mit vorgehaltenem Korrektionsglas und Filter), deren Mittelwert d_{quer} und deren Standardabweichung s berechnet. Die Prüfgröße t und der Freiheitsgrad df wurden mit folgenden Formeln 3.2 und 3.3 bestimmt:

$$t = \frac{\left| d_{\text{quer}} \right|}{\frac{s}{\sqrt{n}}} \quad (3.2)$$

$$df = n - 1 \quad (3.3)$$

Die Nullhypothese besagt, dass die mittlere Differenz der Messwerte null ist, das heißt die Werte unterscheiden sich nicht. Dies ist bei $t < t_{df, \alpha}$ gegeben. Falls $t > t_{df, \alpha}$, wird die Nullhypothese abgelehnt und die Werte unterscheiden sich signifikant. Alle Werte werden auf dem 5%-Signifikanzniveau geprüft. Der kritische t-Wert wird entsprechend der Freiheitsgrade df aus der t-Tabelle für zweiseitige Fragestellung entnommen.

4 Ergebnisse

Im folgenden Kapitel der Arbeit werden die Ergebnisse und Erkenntnisse der durchgeführten Messungen, deren Ablauf in Kapitel 3.3 beschrieben ist, dargestellt.

4.1 Ergebnisse der Messungen ohne und mit Korrektion

Einige Messungen, wie die der Fern- und Einstellpunktrefraktion, wurden sowohl mit als auch ohne Korrektion der Fehlsichtigkeit bei einigen Probanden durchgeführt. Die objektive Fernpunktrefraktion ohne Korrektion stimmte meist sehr gut mit der subjektiven Refraktion des Probanden überein. Dabei war zu beachten, dass der vom PowerRef3 plusoptiX R09 gemessene Refraktionswert nur dem sphärischen Refraktionswert im vertikalen Meridian entsprach. Bei den hyperopen Probanden waren die objektiven Messwerte mit dem Photorefraktometer meist etwas geringer als die Refraktionswerte der subjektiven Refraktion. Es handelte sich bei den Probanden um junge Erwachsene, die noch einen sehr hohen Akkommodationserfolg haben und deshalb während der Messung akkommodieren konnten. Den myopen Probanden fiel es sehr schwer ohne Korrektion einen Einstellpunkt in der Nähe und Ferne zu fixieren. Deshalb traten Schwankungen in den Messwerten der Refraktion und des Pupillendurchmessers auf. Bei den hyperopen unkorrigierten Augen traten hauptsächlich Schwankungen bei Messungen der Refraktion in der Nähe auf. Es stellte sich heraus, dass es aufgrund der Schwankungen sinnvoller ist, die Messungen bei emmetropen bzw. auskorrigierten ametropen Augen durchzuführen. Bei der Fernpunktrefraktion mit Korrektion traten meist leicht positive Refraktionswerte (0,25 dpt bis 0,75 dpt) auf und die Messwerte waren konstanter im Vergleich zu den Messwerten der Messungen ohne Korrektion.

Beim Vergleich der Messungen mit Brille mit den Messungen mit Kontaktlinse (jeweils Ferne und Nähe) trat kein Unterschied auf. Demnach macht es keinen Unterschied, ob der Proband mit Brille oder Kontaktlinsen korrigiert ist.

4.2 Ergebnisse der Messungen in verschiedenen Einstellentfernungen

Bei der Akkommodation auf unterschiedliche Entfernungen von 0,33 m, 0,50 m, 1,00 m und ca. 8,00 m war zu bemerken, dass die Größe des Sehzeichen und somit die Visusanforderung einen Einfluss auf die Akkommodation hat. Die gemessene Einstellpunktrefraktion unterschied sich bei Sehzeichen unterschiedlicher Größe. Zudem trat immer ein Unterschied zwischen Akkommodationsbedarf und der Einstellpunktrefraktion auf. Meist war die Einstellpunktrefraktion im Durchschnitt geringer als der Akkommodationsbedarf und somit lag ein Akkommodationsdefizit vor. Je größer der Akkommodationsbedarf war, desto größer war das Akkommodationsdefizit.

4.3 Ergebnisse der Messungen bei Änderung der Einstellentfernung

Bei genauerer Betrachtung der Messwerte bei Blicksprüngen zwischen Ferne und Nähe oder auch bei gleitendem Übergang zwischen Ferne und Nähe sind drei verschiedene Vorgänge zu beobachten: Beim Blick in die Nähe nimmt die Brechkraft der Augenlinse zu, dadurch wird das Refraktionsdefizit RD positiver und die gemessene Refraktion negativer, die Pupillen werden kleiner und verengen sich und der Blickwinkel wird größer, es kommt zur Konvergenz. Die Naheinstellungsrias sind also mit dem Photorefraktometer sehr schnell mess- und erkennbar. Des Weiteren konnte festgestellt werden, dass die Miosis im Vergleich zur Veränderung der Linsenbrechkraft und der Blickrichtung immer etwas verzögert stattfindet und dass die Nahakkommodation (Anspannung) länger dauert (flachere Kurve) als die Fernakkommodation (Entspannung) (steilere Kurve) (Abbildung 19). Der Proband, dessen Messwerte der Refraktion und des Pupillendurchmessers in Abbildung 19 dargestellt sind, blickte zu Beginn der Messung in die Ferne (Hochpunkt) und führte dann einen ständigen Blickwechsel zwischen Nähe (Tiefpunkt) und Ferne (Hochpunkt) durch.

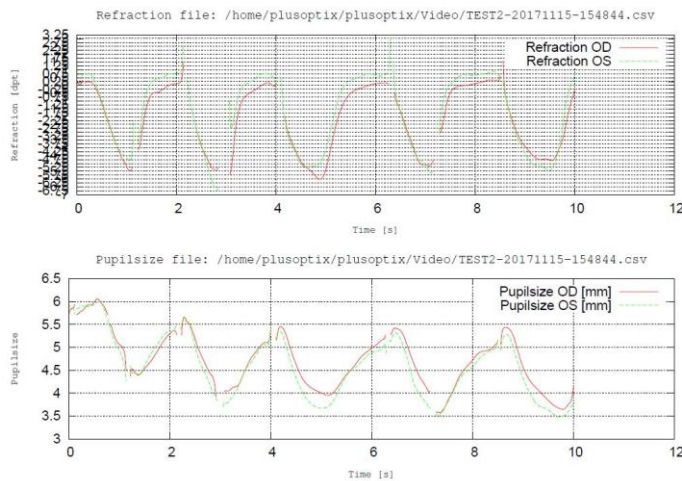


Abbildung 19 Werte der Refraktion (oben) und des Pupillendurchmesser (unten) bei Blicksprung von der Ferne in die Nähe und umgekehrt, Erläuterungen im Text

4.4 Ergebnisse der Messungen bei Akkommodationsruhelage

Bei der Untersuchung der Akkommodationsruhelage im abgedunkelten Messraum wurden zeitweise die Werte der Fernpunktrefraktion etwas unterschritten, sie waren also negativer, geringer. Man kann also davon ausgehen, dass sich bei einem reduzierten Sehreiz der Fernpunkt aus dem Unendlichen in den Nahbereich verlagert. Allerdings lag bei keinem der Probanden der Akkommodationsaufwand zwischen 0,50 dpt und 2,00 dpt, wie in Kapitel 2.3 beschrieben, sondern war geringer. Ursache dafür könnte die Resthelligkeit des Raumes gewesen sein. Die Probanden konnten trotz abgedunkeltem Raum verschiedene Dinge im Raum nach einer gewissen Dunkeladaptationszeit erkennen und diese als Akkommodationsreiz verwenden.

4.5 Ergebnisse der Messungen zur Reproduzierbarkeit

Die Messungen zum Thema Reproduzierbarkeit des Photorefraktometers wurden zwar durchgeführt, aber es konnten daraus keine Erkenntnisse gewonnen werden. Bei mehrmaliger Durchführung derselben Messung an einem Probanden waren die Messwerte nicht identisch. Man kann allerdings nicht genau sagen, woher die Unterschiede in den Messwerten kommen. Ursache dafür könnte zwar die schlechte Wiederholbarkeit des Messgerätes sein, allerdings muss bei der

Messung berücksichtigt werden, dass die Probanden währenddessen akkommodieren können, die Akkommodation also nie komplett gelöst ist und deshalb auch Unterschiede in den Messwerten auftreten können.

Deshalb kam die Idee auf, Messungen am Phantomauge durchzuführen, da dieses Auge nicht akkommodieren kann. Bei diesen Messungen traten aber auch Probleme auf, die nicht behoben werden konnten. Zunächst war es sehr schwierig für das Messgerät die Pupille des Phantomauges aufzufinden. Nicht jedes Phantomauge wies nämlich das Muster einer hellerleuchteten Pupille auf, die von einem dunklen Ring, welcher die Iris darstellt, umgeben wird. Nur dieses Muster kann vom Photorefraktometer als Pupille detektiert und erkannt werden. Deshalb war es notwendig die Helligkeitssteuerung des PowerRef3 plusoptiX R09 manuell zu regulieren, um dieses Muster zu intensivieren. Trotz dieser Änderung konnte die Pupille nur bei extremen Refraktionsfehlern, die am Phantomauge eingestellt wurden, bei einem von drei Phantomaugen erkannt werden. Des Weiteren veränderten sich die gemessenen Refraktionswerte stark bei der Änderung des Pupillendurchmessers und je nach Ausrichtung und Winkel des Auges. Die sphärische Aberration und der Astigmatismus schiefer Bündel sind dafür verantwortlich. Darüber hinaus entsprachen die Messwerte überhaupt nicht den am Phantomauge eingestellten Refraktionsfehlern. Zusammenfassend war es also auch beim Phantomauge schwierig, eine Aussage über die Reproduzierbarkeit des Gerätes treffen zu können.

4.6 Ergebnisse der Messungen zur Kalibrierung

Bei vielen Messungen zur Kalibrierung wurden die Pupillen nicht erkannt (Pupil-Found = 0) und deshalb mussten die Messwerte gelöscht werden. Alle Messwerte der Messungen mit dem vorgehaltenen Korrektionsglas von -4,00 dpt und -5,00 dpt wurden bei der Auswertung nicht berücksichtigt. Dafür gibt es verschiedene Gründe. Bei Proband A, C und D mussten bei -4,00 dpt und -5,00 dpt so viele Messungen gelöscht werden, dass am Ende weniger als 200 Messdaten ($\cong 4$ Sekunden) übrig blieben. Bei Proband B war es überhaupt nicht möglich, eine Messung mit diesen Korrektionsgläsern durchzuführen. Die Störreflexe waren so groß, dass zu keinem Zeitpunkt die Pupille erkannt werden konnte. Bei Proband D und E wurden die Werte gelöscht, da oft während der Messung die

Statusmeldung „*Hyperopie*“ angezeigt wurde und die Messwerte größer als +5,00 dpt waren. Ansonsten wurden bei Proband B die Messwerte der Messung mit dem vorgehaltenen Korrektionsglas von +5,00 dpt und -2,00 dpt, bei Proband D mit +4,00 dpt und -3,00 dpt und bei Proband E mit -3,00 dpt in der Auswertung nicht berücksichtigt. Dies lag daran, dass auch hier jeweils weniger als 200 Messdaten nach dem Löschen übrig blieben und bei Proband D mit dem Korrektionsglas von -3,00 dpt teilweise die Statusmeldung „*Hyperopie*“ angezeigt wurde.

Die Mittelwerte und Standardabweichungen der sphärischen Refraktion, des Pupillendurchmesser und des horizontalen Blickwinkels aller Messungen zur Kalibrierung für beide Augen sind tabellarisch im Anhang aufgeführt.

In Abbildung 20 ist der Zusammenhang der erwarteten Refraktion (\triangleq „minus vorgehaltenes Korrektionsglas“) und der gemessenen Refraktion am rechten Auge mit der jeweiligen Standardabweichung für die einzelnen Probanden dargestellt. Durch die einzelnen Messpunkte im Streudiagramm jedes Probanden wurde eine lineare Regressionsgerade gelegt, deren Gleichung in Tabelle 6 aufgeführt ist. Dort sind außerdem die berechneten Quadrate des Pearsonschen Korrelationskoeffizienten R^2 angegeben. In Abbildung 21 ist dieser Zusammenhang für alle Probanden gemeinsam zu sehen. Dazu wurden die gemessenen Refraktionswerte der einzelnen Probanden gemittelt.

Abbildung 20, Abbildung 21 und Tabelle 6 zeigen, dass eine sehr hohe Korrelation zwischen erwarteter und gemessener Refraktion besteht, da der Korrelationskoeffizient R bei allen Probanden einen Wert zwischen 0,9 und 1,0 annimmt. Der y-Achsenabschnitt a der linearen Regressionsgeraden liegt bei allen Probanden zwischen -0,3583 und +0,8157 und der Regressionskoeffizient b (Steigung der Geraden) nimmt Werte zwischen 0,7706 und 1,3852 an. Abbildung 20 und Abbildung 21 ist zu entnehmen, dass je höher der Wert der vorgehaltenen Linse ist, desto stärker schwanken die gemessenen Refraktionswerte und die Standardabweichung nimmt zu. Mittelt man die gemessenen Refraktionswerte der einzelnen Probanden, weicht die lineare Regressionsgerade mit der Gleichung $y=1,0647x+0,0682$ (Ist) sehr gering von der Winkelhalbierenden (Soll) ab und das Quadrat des Pearsonschen Korrelationskoeffizienten R^2 beträgt 0,9905.

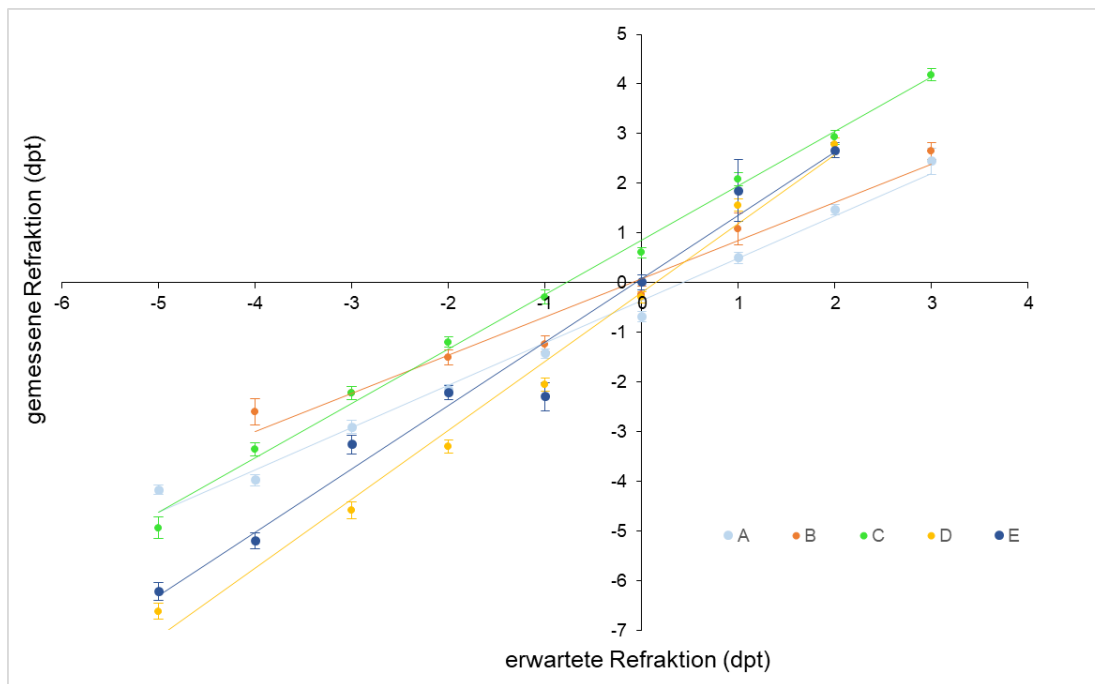


Abbildung 20 Grafische Darstellung des Zusammenhanges von erwarteten (Abszisse) und gemessenen (Ordinate) Refraktionswerten (dpt) der einzelnen Probanden, Erläuterungen im Text

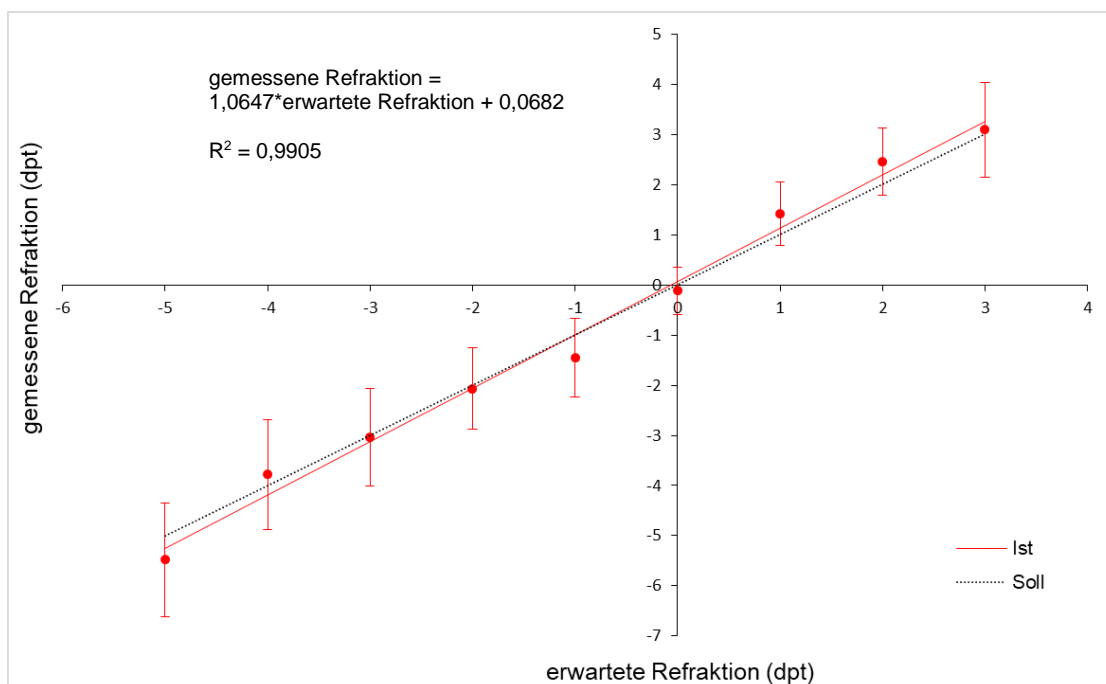


Abbildung 21 Grafische Darstellung des Zusammenhanges von erwarteten (Abszisse) und gemessenen (Ordinate) Refraktionswerten (dpt) aller Probanden, Erläuterungen im Text

Tabelle 6 Lineare Gleichung der Regressionsgeraden und Quadrat des Pearsonschen Korrelationskoeffizienten R^2 für alle Probanden einzeln und gesamt (Zusammenhang erwartete und gemessene Refraktion)

Proband	lineare Gleichung	Quadrat des Pearsonschen Korrelationskoeffizienten R^2
A	0,8507x-0,3583	0,9892
B	0,7706x+0,083	0,9676
C	1,0955x+0,8157	0,9960
D	1,3852x-0,2002	0,9877
E	1,2754x+0,1267	0,9741
gesamt	1,0647x+0,0682	0,9905

Um sicherzustellen, dass die Refraktionsänderungen im abgedeckten Auge ausschließlich durch die vorgehaltenen Linsen und nicht durch Akkommodation hervorgerufen wurden, mussten die sphärischen Fernpunktrefraktionswerte mit den Refraktionswerten des linken Auges mit vorgehaltenen Korrektionsgläsern verglichen werden. Nach dem t-Test für abhängige Stichproben unterscheiden sich diese beiden Werte bei allen Messreihen auf dem 5 %-Niveau nicht signifikant ($t < t_{df, \alpha}$) (Tabelle 7). Tabelle 7 zeigt außerdem, dass unterschiedliche kritische t-Wert aus der t-Tabelle für zweiseitige Fragestellung entnommen werden mussten, da sich die Probandenanzahl n und somit auch der Freiheitsgrad df bei den einzelnen Messreihen unterschied. Dies lag daran, dass einzelne Messreihen, wie bereits beschrieben, gelöscht werden mussten.

Da das linke Auge also keinerlei Verschiebung der Fehlsichtigkeit zeigte, wurden die Änderungen im abgedeckten Auge ausschließlich durch die Linsen verursacht.

Tabelle 7 Probandenanzahl n , Freiheitsgrad df , kritischer t-Wert t und berechneter t-Wert (Vergleich Fernpunktrefraktion mit Refraktionswerten des linken Auges mit verschiedenen, vorgehaltenen Korrektionsgläsern)

Korrektionsglas (dpt)	Probandenanzahl n	Freiheitsgrad df	$t_{df, 5\%}$	berechneter t-Wert
+5,00	4	3	3,182	0,779
+4,00	4	3	3,182	1,196
+3,00	5	4	2,776	1,943
+2,00	5	4	2,776	0,681
+1,00	5	4	2,776	0,758
0,00	5	4	2,776	1,459
-1,00	5	4	2,776	0,321
-2,00	4	3	3,182	2,052
-3,00	3	2	4,303	1,347

Vergleicht man die sphärischen Fernpunktefraktionswerte mit den Refraktionswerten des rechten Auges mit vorgehaltenen Korrektionsgläsern, unterscheiden sich diese signifikant auf dem 5%-Niveau ($t > t_{df, \alpha}$) bei allen Messreihen, außer bei den Messreihen mit dem vorgehaltenen Korrektionsglas von -1,00 dpt und wenn kein Glas und nur der infrarotdurchlässige Filter vorgehalten wurde.

Diese Überlegungen können auch für den Pupillendurchmesser und den horizontalen Blickwinkel des rechten und linken Auges gemacht werden. Der Pupillendurchmesser des rechten Auges bei der Fernpunktrefraktion unterscheidet sich nach dem t-Test signifikant auf dem 5%-Niveau ($t > t_{df, \alpha}$) von dem Pupillendurchmesser des rechten Auges bei den Messreihen mit den vorgehaltenen Linsen der Stärke +5,00 dpt bis +2,00 dpt. Bei den Korrektionsgläsern +1,00 dpt bis -3,00 dpt unterscheiden sich die Werte des Pupillendurchmesser des rechten Auges nicht signifikant auf dem 5%-Niveau.

Betrachtet man die genauen Werte des Pupillendurchmessers des rechten Auges in Abhängigkeit von dem vorgehaltenen Korrektionsglas (Abbildung 22), wird deutlich, dass der Pupillendurchmesser mit zunehmendem positivem Korrektionsglas zunimmt und mit zunehmendem negativem Korrektionsglas abnimmt. Überdies haben die hyperopen Probanden A, B und E einen größeren Pupillendurchmesser als die myopen Probanden C und D. Diese Beobachtungen können mit der Eigenvergrößerung des Brillenglases begründet werden. Bei einer konvexen Linse ist die Eigenvergrößerung größer als eins, es kommt zur Vergrößerung des Bildes. Bei einer konkaven Linse ist die Eigenvergrößerung kleiner als eins, es kommt zur Verkleinerung des Bildes. Mittelt man die gemessenen Pupillendurchmesser des rechten Auges aller fünf Probanden hat die lineare Regressionsgerade durch die einzelnen gemittelten Messpunkte einen Regressionskoeffizient b von 0,1190. Der Pupillendurchmesser des rechten Auges nimmt also im Mittel um 0,1190 mm pro Dioptrie zu.

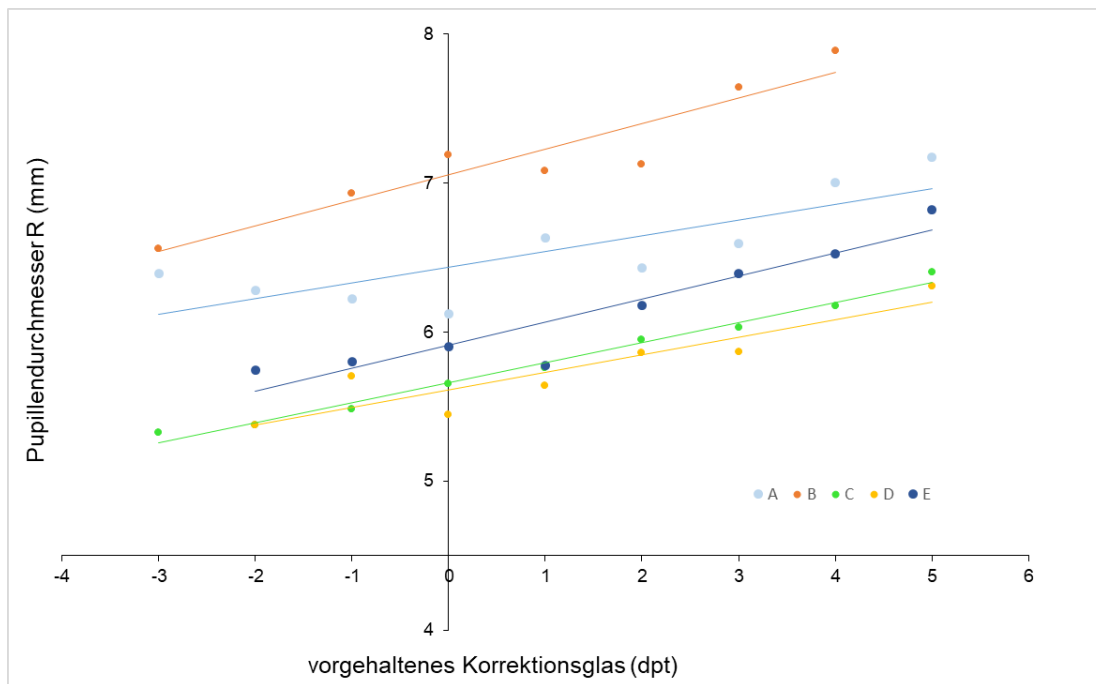


Abbildung 22 Grafische Darstellungen des Pupillendurchmessers (mm) des rechten Auges in Abhängigkeit vom vorgehaltenen Korrektionsglas (dpt), Erläuterungen im Text

Nach dem t-Test unterscheidet sich der Pupillendurchmesser des linken Auges bei der Fernpunktrefraktion nur signifikant auf dem 5%-Niveau ($t > t_{df, \alpha}$) von dem Pupillendurchmesser des linken Auges bei den Messreihen mit dem vorgehaltenen Korrektionsglas von +5,00 dpt. Hier verändert sich also der Pupillendurchmesser des linken Auges signifikant, da die Reaktion beider Augen über eine nervliche Verbindung miteinander verbunden ist. Bei allen anderen Messreihen liegt kein signifikanter Unterschied vor. Mittelt man auch beim linken Auge die gemessenen Pupillendurchmesser aller fünf Probanden hat die lineare Regressionsgerade durch die einzelnen gemittelten Messpunkte einen Regressionskoeffizient b von 0,0037. Der Pupillendurchmesser des linken Auges ändert sich im Mittel also um 0,0037 mm pro Dioptrie, also quasi nicht.

Beim Vergleich des horizontalen Blickwinkels des rechten oder linken Auges bei der Fernpunktrefraktion mit dem horizontalen Blickwinkel des rechten oder linken Auges bei den Messreihen mit vorgehaltenem Korrektionsglas und Filter besteht kein signifikanter Unterschied auf dem 5%-Niveau. Bei genauer Betrachtung des Blickwinkels des rechten Auges mit und ohne vorgeschaltetem Filter kann allerdings eine Aussage über die Phorie des Probanden getroffen werden. Diese

Betrachtung beruht auf dem Prinzip des Aufdecktests. Hier ist allerdings ein Aufdecken des Auges nicht notwendig, da die Kamera auch durch den infrarotdurchlässigen Filter ohne Probleme messen kann. Da der Proband jedoch mit dem abgedeckten Auge nichts sehen kann, wird die Fusion beider Augen unterbrochen. Nimmt der horizontale Blickwinkel mit vorgehaltenem Filter zu, liegt eine Esophorie vor (Proband D), nimmt der Blickwinkel ab, liegt eine Exophorie vor (Proband A, B und C). Bei Proband E liegt sowohl ein Exo- (+5,00 dpt bis +3,00 dpt), also auch eine Esophorie (+2,00 dpt bis -2,00 dpt) vor.

Mithilfe der Messungen zur Kalibrierung kann also der Zusammenhang zwischen erwarteter und gemessener Refraktion für jeden Probanden individuell bestimmt werden. Außerdem ist es möglich Aussagen über die Veränderung der Refraktion des nicht abgedeckten Auges, des Pupillendurchmessers und des horizontalen Blickwinkels in Abhängigkeit von der vorgehaltenen Linse zu treffen und die beim Probanden vorliegende Phorie qualitativ zu bestimmen.

Wird also eine weitere Messreihe mit diesen fünf Probanden durchgeführt, kann der Umrechnungsfaktor bzw. die jeweilige lineare Gleichung (Tabelle 6) verwendet werden, um mit den gemessenen Refraktionswerten die tatsächliche Refraktion zu bestimmen. Für Messungen mit neuen Probanden kann mithilfe der Kalibrierung die lineare Gleichung bestimmt werden oder es wird die bereits bestimmte lineare Gleichung (gesamt) verwendet. Da aber die Auswertung der Kalibrierung sehr aufwendig ist, ist es sinnvoll diese nur durchzuführen, falls man die Probanden sehr genau vermessen möchte (z.B. Akkommodationsstudie). Für Messungen, die im Rahmen eines Praktikums von Studierenden durchgeführt werden (Kapitel 5), ist eine Kalibrierung nicht dringend notwendig.

5 Messmöglichkeiten für Studierende im Praktikum

Mit dem Photorefraktometer PowerRef3 plusoptiX R09 sollen in Zukunft, im Rahmen eines Praktikums des Studienganges Augenoptik/Optometrie an der Hochschule Aalen, Messungen durchgeführt werden. Um herauszufinden, wie das Messgerät grundsätzlich funktioniert, welche Messmöglichkeiten es gibt und welche Messungen davon sinnvoll für ein Praktikum sind, wurde diese Arbeit erstellt.

Neben dem schriftlichen Teil der Arbeit, wurde zusätzlich eine Anleitung für Messungen mit dem PowerRef3 plusoptiX R09 (Lizenz R) erstellt, die im Anhang aufgeführt ist und die die allgemeine Bedienung des Gerätes und die Vorgehensweise bei der Durchführung einer Messung, wie bereits in Kapitel 3.1.4 erläutert, anschaulich beschreibt. Die Studierenden sollten sich vor dem Praktikum mit dieser Anleitung auseinandersetzen, um die einzelnen Schritte im Praktikum selbst anwenden und umsetzen zu können. Diese Bedienungsanleitung liegt am Gerät aus, um während der Messung die einzelnen Schritte nachlesen zu können. Außerdem sollten die theoretischen Grundlagen, wie das Prinzip der exzentrischen Photorefraktion, das Thema Akkommodation und die Vorgänge bei der Naheinstellung, bereits in der Vorlesung behandelt worden sein, um die Aufgaben im Praktikum durchführen zu können.

Zusätzlich zu dieser Bedienungsanleitung wurde noch eine potentielle Praktikumsanleitung (nur Lizenz R) erstellt, die auch im Anhang aufgeführt ist und nachfolgend genau erläutert wird. Dabei werden die genauen Aufgabenstellungen und Lernziele des Praktikums beschrieben. Bei der Ausarbeitung der Messmöglichkeiten für Studierende wurde nur die Lizenz R berücksichtigt, da sie die eigentliche Lizenz des Photorefraktometers PowerRef3 plusoptiX R09 ist. Das Praktikum könnte mit der Lizenz CM noch erweitert werden, um die Fernpunktrefraktion bestehend aus Sphäre, Zylinder und Achse zu bestimmen.

Alle Messungen des Praktikums sollen 10 Sekunden andauern. Dazu wird das Programm Standard_10sec verwendet. Die Studierenden haben zunächst die Aufgabe die Fernpunktrefraktion A_R ohne (sc) und mit (cc) Korrektur, falls sie ametrop sind, zu bestimmen. Sie vermessen sich dabei immer gegenseitig. Die

Refraktionswerte beider Augen werden in den grafischen Darstellungen abgelesen und notiert. Anschließend wird die Einstellpunktrefraktion A_E für drei verschiedene Einstellentfernungen a_E (z.B. 0,33 m, 0,50 m, 1,00 m), mit Korrektur falls ametrop, ohne Korrektur falls emmetrop, bestimmt. Dazu wird dem zu vermessenden Studierenden eine Fixationsmarke (z.B. Landoltring) dargeboten und der Abstand der Fixationsmarke vom Auge wird individuell auf der Laufschiene verändert. Die Einstellentfernung a_E und abgelesene Einstellpunktrefraktion A_E werden in der vorgegeben Tabelle eingetragen. Der Akkommodationsbedarf, der Akkommodationserfolg ΔA und das Akkommodationsdefizit bzw. der Akkommodationsüberschuss werden berechnet. Wie diese einzelnen Werte berechnet werden, ist unter der Tabelle noch einmal kurz beschrieben. Da bei den meisten Messungen der Fernpunktrefraktion mit Korrektur leicht positive Werte gemessen werden und die Refraktion nicht 0,00 dpt beträgt, ist das Akkommodationsdefizit/-überschuss der Unterschied zwischen Akkommodationsbedarf und Akkommodationserfolg ΔA . Bei der Berechnungen von Akkommodationsbedarf und Akkommodationserfolg ΔA wird der Einfachheit halber nicht berücksichtigt, dass der Studierende mit einem Brillenglas korrigiert ist und somit der Abstand des Bildes für diese Berechnungen beachtet werden müsste.

Wird beispielsweise bei einem Studierenden eine Fernpunktrefraktion A_R mit Korrektur von +0,50 dpt und eine Einstellpunktrefraktion A_E von -1,50 dpt bei einer Einstellentfernung a_E von 0,33 m gemessen, so beträgt der Akkommodationsbedarf +3,00 dpt und der Akkommodationserfolg ΔA +2,00 dpt und es liegt ein Akkommodationsdefizit von 1,00 dpt vor.

Zuletzt haben die Studierenden die Aufgabe herauszufinden, welche Veränderungen beim Blick in die Nähe entstehen. Dazu sollen sie eine Messung durchführen, bei der sie abwechselnd Nähe und Ferne fixieren (Blicksprünge) bzw. einen gleichenden Übergang des Blickes von Ferne auf Nähe und umgekehrt machen. Dabei sollen die Messwerte der Refraktion, des Pupillendurchmessers und des horizontalen Blickwinkels beachtet werden.

Hauptziel dieses Praktikums ist, dass die Studierenden lernen, selbstständig Messungen zu planen, durchzuführen und anschließend zu kontrollieren bzw. zu

analysieren. Überdies lernen sie ein Messgerät kennen, das hauptsächlich für die Forschung verwendet wird. Mithilfe dieses Praktikums können die in der Vorlesung theoretisch erlernten Inhalte in der Praxis selbstständig untersucht, kritisch hinterfragt, analysiert und verifiziert werden.

Mit den Messungen der Einstellpunktrefraktion für verschiedene Einstellentfernungen können die Studierenden feststellen, dass der gemessene Akkommodationserfolg ΔA nie mit dem Akkommodationsbedarf bzw. der erwarteten Akkommodation übereinstimmt. Es liegt ein Akkommodationsdefizit vor, das umso größer ist, je größer der Akkommodationsbedarf ist, also je kleiner die Einstellentfernung ist. Es wird also zu wenig akkommodiert, was zur Folge hat, dass die Schärfenebene hinter der Netzhaut liegt, was eine Myopieentwicklung unterstützt.

Bei der genauen Analyse der Blicksprungmessung, können die Studierenden drei Vorgänge erkennen, die beim Blick in die Nähe auftreten und als Naheinstellungs-*trias* bezeichnet werden. Es kommt zur Miosis (Pupillenverengung), Akkommodation (Erhöhung der Brechkraft) und Konvergenz (Vergrößerung des horizontalen Blickwinkels).

6 Diskussion

Messungen mit dem Photorefraktometer PowerRef3 plusoptiX R09 haben gezeigt, dass es sehr schwer möglich ist die Reproduzierbarkeit des Gerätes zu bestimmen. Die Messwerte derselben Messung sind nie identisch, da der Proband während der Messung die Möglichkeit hat zu akkommodieren und sich somit die Messergebnisse unterscheiden können.

Außerdem sind die Messungen eingeschränkt durch den begrenzten sphärischen Messbereich. Diese Begrenzung des Messbereiches ist allerdings notwendig, da der Messfehler mit zunehmender Fehlsichtigkeit zunimmt und die Messwerte unzuverlässig macht. Da auch der Pupillendurchmesser den sphärischen Messbereich einschränkt, muss dieser zwischen 4,00 mm und 8,00 mm liegen. Demzufolge muss bei den meisten Messungen die Raumhelligkeit angepasst werden und Messungen in einem weiten Adaptationsbereich sind nur eingeschränkt möglich.

Die Messwerte werden zwar sehr schnell, binokular und aus der Distanz bestimmt, das verwendete Infrarotlicht als Lichtquelle wurde jedoch von einigen Probanden während der Messung wahrgenommen und als leicht ablenkend empfunden.

Die Messungen haben aber gezeigt, dass sich der Photorefraktometer sehr gut anbietet, um theoretisch erlernte Inhalte, wie z.B. die Naheinstellungstrias, das Akkommodationsdefizit bei der Nahakkommodation und die Akkommodationsruhelage, zu veranschaulichen, zu überprüfen und um Abweichungen und deren Ursache zu analysieren.

Obwohl man, wie auch bei allen automatisierten Refraktionsverfahren, eine Brillenverordnung aufgrund der Messungen des PowerRef3 plusoptiX R09 allein nicht empfehlen kann, kann der Photorefraktometer sehr wertvolle Hinweise geben, die mit anderen Techniken nicht gewonnen werden können.

Mithilfe der Messungen der Fernpunktrefraktion mit Korrektur konnte, wie bereits in anderen Studien, festgestellt werden, dass die sphärischen Refraktionswerte des Photorefraktometers meist etwas hyperoper als die subjektiv bestimmten

Werte sind. Diese Abweichung kann jedoch leider nicht verkleinert werden und ist auf die Individualität jedes Fundus zurückzuführen, weshalb sich eine individuelle Eichung mit Linsen empfiehlt, wenn eine genaue Messung mit Probanden durchgeführt werden soll.

Die Messungen zur Kalibrierung zeigten, dass eine sehr hohe Korrelation zwischen erwarteter und gemessener Refraktion besteht ($R^2=0,9905$). Die lineare Gleichung der Regressionsgeraden lautet gemessene Refraktion= $1,0647 \cdot$ erwartete Refraktion $+0,0682$ und ist der Regressionsgeraden der von Choi et al. (2000) durchgeführten Kalibrierung ($y=1,0442x-0,0392$) ähnlich. Auch bei dieser Studie lag eine sehr hohe Korrelation vor ($R^2=0,9947$). Da das nicht abgedeckte Auge keinerlei Verschiebung der Fehlsichtigkeit zeigte, wurden die Änderungen im abgedeckten Auge ausschließlich durch die Linsen verursacht. Der Pupillendurchmesser des abgedeckten Auges ändert sich um $0,1190$ mm pro vorgehaltene Dioptrie und der des nicht abgedeckten Auges ändert sich um $0,0037$ mm pro Dioptrie, also quasi nicht. Die vorgehaltenen Korrektionsgläser haben also einen größeren Einfluss auf den Pupillendurchmesser des abgedeckten Auges. Neben diesen Erkenntnissen der Messungen zur Kalibrierung konnte außerdem die beim Probanden vorliegende Phorie qualitativ bestimmt werden.

Unter der Annahme, dass bei einem nicht genebelten bzw. nicht weitgetropften Auge während der Kalibrierung mit Linsen nicht der Fernpunkt vom Auge fokussiert wird, sondern das Auge etwa $1,00$ dpt nahakkommodiert (tonische Akkommodation), muss ein positiver Ausgleich vom Photorefraktometer vorgenommen werden. Da man allerdings nicht weiß, ob dieser positive Ausgleich ungünstige Auswirkungen bei Messungen der Akkommodationsgenauigkeit hat, muss eine weitere Untersuchung durchgeführt werden. Seidemann und Schaeffel (2003) führten dazu in ihrer Studie eine dynamische Skiaskopie bei Probanden durch, die die Aufgabe hatten, Objekte in unterschiedlichen Abständen zu fokussieren. Die Messwerte des Photorefraktometers wurden mit den Messwerten der Skiaskopie verglichen. Dabei wurde herausgefunden, dass die Messwerte des Photorefraktometers um $1,08$ dpt (y-Achsenabschnitt) positiver (hyperoper) sind als die Messwerte der Skiaskopie, aber trotzdem eine hohe Korrelation mit einem Regressionskoeffizient von $1,04$ besteht. Der positive Ausgleich von $1,00$ dpt

wurde vom Photorefraktometer also berücksichtigt und hat keine Auswirkung auf die Messung der Akkommodationsgenauigkeit.

Eine weitere Möglichkeit, um herauszufinden wie zuverlässig die Messungen mit einem Photorefraktometer sind, wurde auch von Seidemann und Schaeffel (2003) durchgeführt und in ihrer Studie beschrieben. Dabei wurden die Probanden aufgefordert monokular einen Text in unterschiedlichen Abständen zu lesen. Das andere Auge wurde mit einem infrarotdurchlässigen Filter abgedeckt. Es wurde eine Linse vor das abgedeckte Auge gehalten, deren Stärke der gemessenen Akkommodation entsprach. Wenn diese Linse das abgedeckte Auge so korrigiert, dass es wieder emmetrop ist (Refraktion = 0,00 dpt), werden die Refraktionswerte mit dem Photorefraktometer korrekt gemessen. Falls dies nicht der Fall ist, muss wie bei der Kalibrierung auch eine Korrektionsformel mithilfe der gemessenen Refraktionen bestimmt werden.

Die Studie von Seidemann und Schaeffel (2003) beschäftigte sich außerdem mit der Akkommodationsgenauigkeit, die mithilfe eines Photorefraktometers gemessen wurde. Es wurde herausgefunden, dass man in der Regel bei einem Akkommodationsbedarf von 3,00 dpt um etwa 0,75 dpt zu wenig akkommodiert. Die Unterakkommodation ist beim einäugigen Sehen noch verstärkt. Die Akkommodationsgenauigkeit konnte jedoch verbessert werden, wenn den Probanden Plusgläser vorgesetzt wurden. Es ist wahrscheinlich, dass sich damit die etwas verlangsamte Progression der Kurzsichtigkeit bei Kindern, die mit Lesebrillen lesen, erklären lässt. Zudem konnte festgestellt werden, dass mit zunehmender Visusanforderung die Probanden mehr akkommodierten und sich somit das Akkommodationsdefizit verringerte.

7 Schlussfolgerung und Ausblick

Hauptziel dieser Arbeit war es, den Photorefraktometer PowerRef3 plusoptiX R09 und dessen Messmöglichkeiten genau zu untersuchen, damit Studierende des Studienganges Augenoptik/Optometrie der Hochschule Aalen in Zukunft, im Rahmen eines Praktikums, Messungen durchführen können.

Dabei konnte herausgefunden werden, dass sich die Messungen mit dem Gerät nicht immer ganz einfach gestalten. Die Messung wird nämlich von verschiedenen Störfaktoren, wie beispielsweise der Akkommodationsfähigkeit des Auges und dem eingeschränkten Messbereiche des Photorefraktometers, beeinflusst und einschränkt. Der Photorefraktometer bietet sich allerdings sehr gut an, um bereits theoretisch erlernte Inhalte praktisch anzuwenden, zu untersuchen, Abweichungen kritisch zu hinterfragen und deren Ursache zu analysieren.

Mithilfe der genauen Messung zur Kalibrierung konnten individuelle Zusammenhänge zwischen gemessener und erwarteter Refraktion quantitativ bestimmt werden und eine ausführliche Auswertung der Messwerte wurde durchgeführt.

Für den Studiengang Augenoptik/Optometrie bietet das Messgerät und diese Arbeit eine Grundlage für neue detaillierte Testreihen und Studien. Diese könnten sich beispielsweise mit der Abhängigkeit der Akkommodation von der Visusanforderung und/oder vom Kontrast der Sehzeichengröße, mit der Auswirkung von Prismen auf die Refraktion, die Pupillengröße und den Blickwinkel oder mit der Genauigkeit der Messungen mit dem Photorefraktometer (Lizenz CM) im Vergleich mit Messungen mit herkömmlichen Autorefraktometern beschäftigen.

Literaturverzeichnis

Abrahamsson M., Ohlsson J., Björndahl M., Abrahamsson H. (2003): Clinical evaluation of an eccentric infrared photorefractor: the PowerRefractor. *Acta Ophthalmologica Scandinavica*. 81, 605–610

Bobier W.R., Braddick O.J. (1985): Eccentric photorefraction: optical analysis and empirical measures. *American Journal of Optometry and Physiological Optics*. 62(9), 614-620

Choi M., Weiss S., Schaeffel F., Seidemann A., Howland H., Wilhelm H. (2000): Laboratory, Clinical and Kindergarten Tests of a New Eccentric Infrared Photorefractor (PowerRefractor). *Optometry and Vision Science*. 77(10), 537–548

Diepes H. (2004): Refraktionsbestimmung. DOZ-Verlag, 3. Auflage, 37-43, 174-175

Dietze H., Artes P. H., Grein H.-J., Jungnickel H., Marx S., Seidel D., Sickenberger W., Spors F. (2008): Die optometrische Untersuchung. Georg Thieme Verlag, 2. Auflage, 148-153

Gekeler F., Schaeffel F., Howland H.C., Wattam-Bell J. (1997): Measurement of Astigmatism by Automated Infrared Photoretinoscopy. *Optometry and Vision Science*. 74(7), 472-482

Howland H.C. (1985): Optics of photoretinoscopy: results from ray tracing. *American Journal of Optometry and Physiological Optics*. 62(9), 621-625

Kaakinen K. (1979): A simple method for screening of children with strabismus, anisometropia or ametropia by simultaneous photography of the corneal and the fundus reflexes. *Acta Ophthalmologica (Copenhagen)*. 57(2), 161-171

Lachenmayr B., Friedburg D., Buser A. (2016): Auge-Brille-Refraktion Schober-Kurs: verstehen-lernen-anwenden. Georg Thieme Verlag, 5. Auflage, 27-37, 43

Plusoptix GmbH (2016): PowerRef3 – plusoptiX R09 Binocular Pupillometer - plusoptiX P09 Instruction Manual (Version 22.02.2016 / 5.0.20.0). Online verfügbar unter <https://plusoptix.com/images/support-downloads/user-manual-r09-english.pdf> (letzter Zugriff: 02.12.2017)

Plusoptix GmbH (2016): Pediatric Autorefractor plusoptiX A09 Bedienungsanleitung (Version 22.02.2016 / 5.0.20.0). Online verfügbar unter <https://plusoptix.com/images/support-downloads/user-manual-a09-de.pdf> (letzter Zugriff: 01.02.2018)

Plusoptix GmbH (2017): Akkommodationsforschung. Online verfügbar unter <https://plusoptix.com/de/power-refractor-de> (letzter Zugriff: 02.12.2017)

Plusoptix GmbH (2017): Augenuntersuchung. Online verfügbar unter <https://plusoptix.com/de/pediatric-autorefractor-de> (letzter Zugriff: 01.02.2018)

Rosengren B. (1948): A method of skiascopy with the electric ophthalmoscope. *Acta Ophthalmologica* (Copenhagen). 26(2), 215-221

Schaeffel F., Mathis U., Brüggemann G. (2007): Noncycloplegic Photorefractive Screening in Pre-School Children with the „PowerRefractor“ in a Pediatric Practice. *Optometry and Vision Science*. 84(7), 630–639

Schaeffel F., Weiss S. (2002): Automatische Infrarot-Photoskiaskopie: ein Verfahren zur Messung von Fehlsichtigkeit, Pupillengröße und Blickrichtung beider Augen aus einem Meter Entfernung und mit 25 Hertz. Manuskript, eingereicht als Bewerbung für den Helmholtz-Preis 2003.

Seidemann A., Schaeffel F. (2003): An evaluation of the lag of accommodation using photorefraction. *Vision Research*. 43, 419-430

Stirnadel R. (2017/2018): Antwort auf Fragen, 12.12.2017, 08.01.2018, 10.01.2018, persönliche E-Mail von Ralph Stirnadel, Ansprechpartner bei der Firma Plusoptix GmbH

Wesemann W., Norcia A.M., Allen D. (1991): Theory of eccentric photorefraction (photoretinoscopy): astigmatic eye. *Journal of the Optical Society of America*. 8(12), 2038-2047

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Prinzip der exzentrischen Photorefraktion (Schaeffel, Weiss 2002), Erläuterungen im Text.....	3
Abbildung 2	Akkommodationsaufwand in Abhängigkeit vom Akkommodationsbedarf (aus Dietze et al. 2008), Erläuterungen im Text	8
Abbildung 3	schematische Darstellung der Lage des Einstellpunktes in Abhängigkeit vom Akkommodationsbedarf (Abstand des zu fixierenden Objektes), Erläuterungen im Text.....	8
Abbildung 4	Typischer Aufbau für Messungen mit dem PowerRef3 plusoptiX R09 (Plusoptix GmbH 2016), Erläuterungen im Text	14
Abbildung 5	Anschlüsse des plusoptiX R09 (Plusoptix GmbH 2016), Erläuterungen im Text	14
Abbildung 6	Screenshot der PowerRef3 plusoptiX R09 Benutzeroberfläche (Lizenz R) der Hauptrubrik Einstellungen, Unterrubrik Allgemein	17
Abbildung 7	Screenshot der PowerRef3 plusoptiX R09 Benutzeroberfläche (Lizenz R) der Hauptrubrik Einstellungen, Unterrubrik System	18
Abbildung 8	Screenshot der PowerRef3 plusoptiX R09 Benutzeroberfläche (Lizenz R) der Hauptrubrik Binokular	19
Abbildung 9	Screenshot der PowerRef3 plusoptiX R09 Benutzeroberfläche (Lizenz R) mit einer geöffneten pdf-Datei und Druck-Symbol (unten rechts)	22
Abbildung 10	Screenshot des geöffneten Print-Fensters mit Print-Button (Lizenz R)..	22
Abbildung 11	Screenshot des geöffneten Video laden-Fensters (Lizenz R)	23
Abbildung 12	Screenshot der PowerRef3 plusoptiX R09 Benutzeroberfläche (Lizenz CM) der Hauptrubrik Einstellungen, Unterrubrik Allgemein	31
Abbildung 13	Screenshot der PowerRef3 plusoptiX R09 Benutzeroberfläche (Lizenz CM) der Hauptrubrik Einstellungen, Unterrubrik Drucker	32
Abbildung 14	Screenshot der PowerRef3 plusoptiX R09 Benutzeroberfläche (Lizenz CM) der Hauptrubrik Binokular	33
Abbildung 15	Screenshot des Menüs zur Auslösung der Messung (Lizenz CM) und aufrufbares Video information - Fenster	34
Abbildung 16	Screenshot der PowerRef3 plusoptiX R09 Benutzeroberfläche (Lizenz CM) der Hauptrubrik Binokular nach erfolgreicher Messung	35
Abbildung 17	Zusätzliche Laufschiene im Aufbau mit Schiebereiter und Sehzeichen .	40
Abbildung 18	Position des infrarotdurchlässigen Filters vor dem rechten Auge des Probanden	43
Abbildung 19	Werte der Refraktion (oben) und des Pupillendurchmesser (unten) bei Blicksprung von der Ferne in die Nähe und umgekehrt, Erläuterungen im Text	47
Abbildung 20	Grafische Darstellung des Zusammenhanges von erwarteten (Abszisse) und gemessenen (Ordinate) Refraktionswerten (dpt) der einzelnen Probanden, Erläuterungen im Text	50
Abbildung 21	Grafische Darstellung des Zusammenhanges von erwarteten (Abszisse) und gemessenen (Ordinate) Refraktionswerten (dpt) aller Probanden, Erläuterungen im Text.....	50

Abbildung 22 Grafische Darstellungen des Pupillendurchmessers (mm) des rechten Auges in Abhängigkeit vom vorgehaltenen Korrektionsglas (dpt), Erläuterungen im Text.....	53
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Messbereiche, -details und -vorgaben des PowerRef3 plusoptiX R09 (Lizenz R) (Plusoptix GmbH 2016)	13
Tabelle 2 Umweltaforderungen des PowerRef3 plusoptiX R09 (Plusoptix GmbH 2016)	13
Tabelle 3 Möglichkeiten der grafischen Darstellung mit dem PowerRef3 plusoptiX R09 und deren Beschreibung	21
Tabelle 4 Mit PowerRef3 plusoptiX R09 gemessene Werte und deren Beschreibung (Plusoptix GmbH 2016)	25
Tabelle 5 Brillenrefraktionswerte (Sphäre, Zylinder, Achse) der Probanden	42
Tabelle 6 Lineare Gleichung der Regressionsgeraden und Quadrat des Pearsonschen Korrelationskoeffizienten R^2 für alle Probanden einzeln und gesamt (Zusammenhang erwartete und gemessene Refraktion)	51
Tabelle 7 Probandenanzahl n, Freiheitsgrad df, kritischer t-Wert t und berechneter t-Wert (Vergleich Fernpunktrefraktion mit Refraktionswerten des linken Auges mit verschiedenen, vorgehaltenen Korrektionsgläsern)	51

Anhang

CD mit folgenden Dateien und Ordnern:

- **Bachelorarbeit_Constanze_Bayha.pdf**
- **Bedienungsanleitung.pdf**
- **Mindestinhalte_USB.zip**
- **Praktikumsanleitung.pdf**

Ausschnitt aus einer Excel-Tabelle mit importierten Messdaten

Messergebnisse aller Messungen zur Kalibrierung

Bedienungsanleitung

Praktikumsanleitung

Ausschnitt aus einer Excel-Tabelle mit importierten Messdaten

Time [ms]	Segment	Distance() [m]	Brightness() [%]	PupilFound(L)	PupilSizeMM(L).X() [mm]	PupilSizeMM(L).Y() [mm]	PupilDiameterMM(L) [mm]	PupilBrightness(L) [DU]	PurkinjeSize(L).X() [px]
0	SEG4	0.00000	3.795.081	1	628.539	583.644	605.676	13.811.538	300.000
20	SEG4	0.00000	3.815.978	1	606.091	583.644	594.762	14.223.077	300.000
40	SEG4	0.00000	3.804.723	1	583.644	583.644	583.644	14.103.846	300.000
60	SEG4	0.00000	3.812.554	1	628.539	583.644	605.676	14.030.769	200.000
80	SEG4	0.00000	3.801.732	1	606.091	583.644	594.762	13.796.154	400.000
100	SEG4	0.00000	3.806.690	1	583.644	538.748	560.747	13.861.538	300.000
120	SEG4	0.00000	3.788.902	0	606.091	583.644	594.762	0.00000	0.00000
140	SEGsOFF	0.00000	1.150.689	0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
160	SEG4	0.00000	3.717.591	1	606.091	583.644	594.762	14.042.308	400.000

PurkinjeSize(L).Y() [px]	Decentration(L).X() [px]	Decentration(L).Y() [px]	Gaze(L).X() [°]	Gaze(L).Y() [°]	Refraction(L).Sphere() [Dpt]	GetAverageRefraction(L).Contents()
500.000	-0.47619	0.31746	-562.857	375.238	-653.587	10
300.000	-0.51587	0.35714	-609.762	422.143	-623.997	1
300.000	-0.47619	0.31746	-562.857	375.238	-612.411	2
500.000	-0.47619	0.31746	-562.857	375.238	-633.947	3
300.000	-0.35714	0.19841	-422.143	234.524	-643.867	4
300.000	-0.47619	0.15873	-562.857	187.619	-646.981	5
0.00000	3.916.667	-2.884.921	46.295.001	-34.099.762	-10.000.000	5
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	5
300.000	-0.35714	0.35714	-422.143	422.143	-618.995	6

GetAverageRefraction(L).Mean() [Dpt]	GetAverageRefraction(L).StdDeviation() [Dpt]	PupilFound(R)	PupilSizeMM(R).X() [mm]	PupilSizeMM(R).Y() [mm]	PupilDiameterMM(R) [mm]	PupilBrightness(R) [DU]
-649.955	0.18196	1	606.091	628.539	617.213	13.926.923
-623.997	0.00000	1	583.644	583.644	583.644	13.861.538
-618.204	0.08193	1	606.091	606.091	606.091	13.803.846
-623.452	0.10779	1	538.748	583.644	560.747	14.246.154
-628.555	0.13478	1	583.644	606.091	594.762	13.692.308
-632.241	0.14288	1	628.539	628.539	628.539	13.800.000
-632.241	0.14288	1	606.091	628.539	617.213	13.976.923
-632.241	0.14288	0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
-630.033	0.13876	1	606.091	628.539	617.213	13.903.846

PurkinjeSize(R).X() [px]	PurkinjeSize(R).Y() [px]	Decentration(R).X() [px]	Decentration(R).Y() [px]	Gaze(R).X() [°]	Gaze(R).Y() [°]	Refraction(R).Sphere() [Dpt]
400.000	300.000	-0.03968	0.19841	-0.46905	234.524	-573.093
300.000	500.000	-0.15873	0.31746	-187.619	375.238	-579.323
400.000	300.000	-0.15873	0.23810	-187.619	281.429	-584.801
300.000	500.000	-0.31746	0.47619	-375.238	562.857	-546.156
300.000	300.000	-0.19841	0.27778	-234.524	328.333	-582.584
300.000	300.000	-0.15873	0.15873	-187.619	187.619	-578.294
300.000	300.000	-0.19841	0.35714	-234.524	422.143	-552.917
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
300.000	300.000	-0.19841	0.35714	-234.524	422.143	-562.741

GetAverageRefraction(R).Contents()	GetAverageRefraction(R).Mean() [Dpt]	GetAverageRefraction(R).StdDeviation() [Dpt]	InterpupDist() [mm]	InterpupAngle() [°]	Trigger
10	-580.055	0.23670	5.631.065	-0.36339	0
1	-579.323	0.00000	5.623.185	-0.44477	0
2	-582.062	0.03873	5.619.098	-0.24278	0
3	-570.093	0.20911	5.619.249	-0.48555	0
4	-573.216	0.18180	5.619.188	-0.40462	0
5	-574.232	0.15907	5.619.137	-0.32370	0
6	-570.679	0.16678	0.00000	0.00000	0
6	-570.679	0.16678	0.00000	0.00000	0
7	-569.545	0.15518	5.619.137	-0.32370	0

[illegible][illegible][illegible]

[illegible]

Bedienungsanleitung

Anleitung für Messungen mit dem PowerRef3 plusoptiX R09

Bevor der Photorefraktometer PowerRef3 verwendet werden kann, muss der plusoptiX R09 mit einem Monitor, einer Tastatur und einer Maus (USB Kabel) verbunden sein. Sowohl der Monitor als auch der plusoptiX R09 müssen an das Stromnetz angeschlossen werden. Außerdem muss die Kamera PowerRef3 mit der Basisstation plusoptiX R09 verbunden sein.

Einschalten des Gerätes:

- zuerst Monitor, dann plusoptiX R09 einschalten - Software wird gestartet
- nach vollständigem Laden beiliegenden USB-Stick einstecken - wird automatisch erkannt

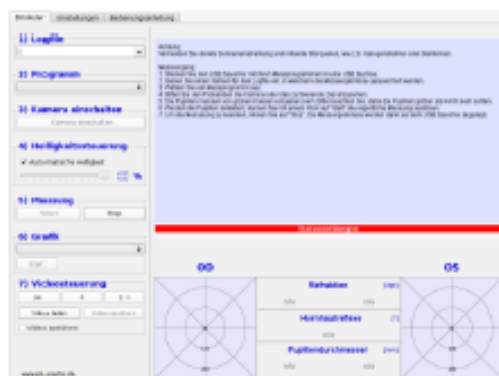
Einstellungen überprüfen:

- Hauptrubrik Einstellungen öffnen
- Unterrubrik Allgemein: Farbdarstellung des Videobildes zwischen Standardeinstellung (Graustufen) und Falschfarben wählbar
- Unterrubrik System für Systemeinstellungen: Sicherheitsabfrage mit „Yes“ oder „Ja“ bestätigen, um Veränderungen vorzunehmen, nur Änderungen in Systemeinstellungen machen, wenn sie diesen Einstellungen nicht entsprechen



Ausschalten des Gerätes:

- zuerst Basisstation plusoptiX R09, dann Monitor ausschalten - USB-Stick entfernen, sobald Schalter der Basisstation nicht mehr aufblinkt
- über Nacht Gerät vom Stromnetz entfernen



Messung durchführen:

1. Probanden unter **Logfile** anlegen (sinnvoller Name ohne Leerzeichen)
2. **Programm** auswählen (Standard – unbegrenzte Messdauer / Standard 5/10/30 sec – Messdauer von 5/10/30 sec)
3. Probanden in Kinn- und Stirnstütze positionieren und einweisen
4. Raum abdunkeln (Vermeiden von direktem Sonnen- und Halogenlicht)
5. Wenn ein Video gespeichert werden soll, Häkchen bei **Video speichern** setzen
6. **Kamera einschalten** und darauf achten, dass beide Pupillen erkannt werden (grüne Umrandung), falls keine Erkennung (rote Umrandung) ($8,00 \text{ mm} < \text{Pupille} < 4,00 \text{ mm}$) Helligkeit manuell regulieren (**Helligkeitssteuerung**) bzw. Raumhelligkeit anpassen
7. **Messung starten**, **Messung stoppen** (nur Programm Standard muss gestoppt werden, Standard 5/10/30 sec wird nach 5/10/30 Sekunden automatisch gestoppt)

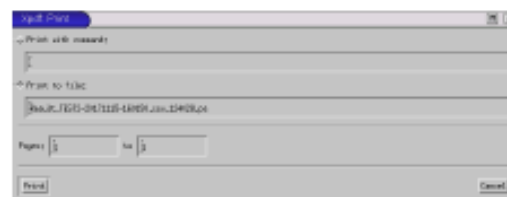
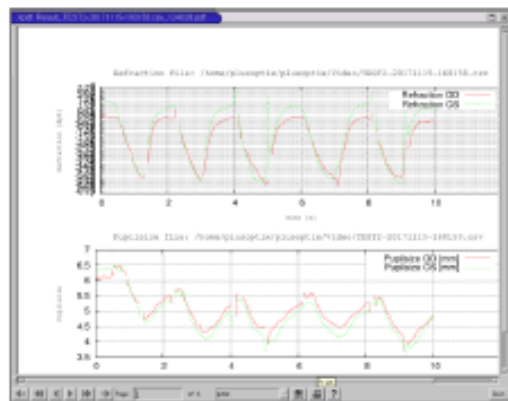
grafische Darstellungsmöglichkeiten	Beschreibung
Refraction_and_Gaze	Refraktion (dpt) und horizontaler Blickwinkel ($^{\circ}$) in Abhängigkeit von der Zeit (s) (2 Messwerte in 1 Diagramm)
Refraction_and_Gaze_2	Refraktion (dpt) und horizontaler Blickwinkel ($^{\circ}$) in Abhängigkeit von der Zeit (s) (2 Messwerte in 2 Diagrammen)
Pupil_and_Refraktion	Pupillengröße (mm) und Refraktion (dpt) in Abhängigkeit von der Zeit (s) (2 Messwerte in 1 Diagramm)
Pupil_and_Refraktion_2	Pupillengröße (mm) und Refraktion (dpt) in Abhängigkeit von der Zeit (s) (2 Messwerte in 2 Diagrammen)
Refraction_and_Gaze_Pupils	Refraktion (dpt), horizontaler und vertikaler Blickwinkel ($^{\circ}$) und Pupillengröße (mm) in Abhängigkeit von der Zeit (s) (3 Messwerte in 3 Diagrammen)
Gaze_X	horizontaler Blickwinkel ($^{\circ}$) in Abhängigkeit von der Zeit (s)
Gaze_Chart	Vertikaler Blickwinkel ($^{\circ}$) in Abhängigkeit vom horizontalen Blickwinkel ($^{\circ}$)
Mono_Ref_Pupil	Refraktion (dpt) und Pupillengröße (mm) in Abhängigkeit von der Zeit (s) (2 Messwerte in 1 Diagramm), rechtes und linkes Auge in einer Farbe
Monocular_Refraktion	Refraktion (dpt) in Abhängigkeit von der Zeit (s) (2 Messwerte in 1 Diagramm), rechtes und linkes Auge in einer Farbe

Messergebnisse als Grafik anzeigen:

8. Logfile mit Nummer auswählen
9. Grafik auswählen und starten – Grafik wird angezeigt

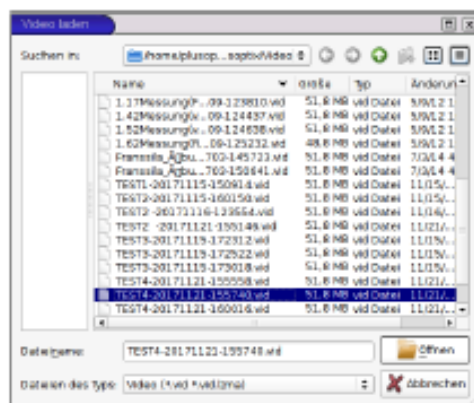
Grafische Darstellungen der Messergebnisse speichern:

1. Grafik _pdf auswählen und starten – Grafik wird angezeigt
2. Druck-Symbol und Print-Button klicken – PDF-Datei wird auf USB-Stick gespeichert



Video laden und anzeigen:

3. Falls Häkchen Video speichern gesetzt wurde, kann Video gleich im Anschluss an Messung angeschaut werden
4. Alle auf dem USB-Stick gespeicherten und vom PowerRef3 plusoptiX R09 aufgenommenen Videos, können über Video laden angezeigt und abgespielt werden



Aufbau des Softwaremenüs

Binokular

- | | |
|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| → 1) Logfile | ↗ Name eintragen/Messung auswählen |
| → 2) Programm | Auswahlfenster:
▼ Standard
▼ Standard_5sec
▼ Standard_10sec
▼ Standard_30sec |
| → 3) Kamera einschalten | – Button: Kamera einschalten |
| → 4) Helligkeitssteuerung | ✓ Markierung setzen: Automatische Helligkeit
oder
↔ Schieberegler einstellen (0 % - 100 %) |
| → 5) Messung | – Button: Start
– Button: Stop |
| → 6) Grafik | Auswahlfenster:
▼ Refraction_and_Gaze
▼ Refraction_and_Gaze_2
▼ ... (siehe Tabelle)
– Button: Start |
| → 7) Videosteuerung | – Button: ⏮ (Zurückspulen)
– Button: ▶ (Play in Echtzeit)
– Button: II ▶ (Einzelbilder)
– Button: Video laden
– Button: Video speichern
✓ Markierung setzen: Video speichern |

Einstellungen

- | | | |
|-------------|--------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ▶ Allgemein | → A) Farbdarstellung Videobild | ✓ Markierung setzen: Standardeinstellung (Graustufen)
oder
✓ Markierung setzen: Falschfarben |
| ▶ System | → A) Sprache | Auswahlfenster:
▼ deutsch (Cave: Einstellung lassen) |
| | → B) Lizenz | ⌨ Aktivierungscode (für Lizenzwechsel (R/CM))
– Button: OK |
| | → C) Tastatur | Auswahlfenster:
▼ de Germany (Cave: Einstellung lassen) |
| | → D) Datumformat | Auswahlfenster:
▼ TT.MM.JJJJ (Cave: Einstellung lassen) |
| | → E) Datum und Uhrzeit | – Button: Einstellungen |

Bedienungsanleitung

Hauptrubriken, ▶ Unterrubriken, → Überschriften in den Haupt- und Unterrubriken, ↗ Möglichkeit zum Eintragen und Auswählen, ⌨ Möglichkeit zum Eintragen, ▼ Auswahl zwischen verschiedenen Möglichkeiten, – Button, ✓ Möglichkeit der Markierungssetzung, ↔ Schieberegler

Praktikumsanleitung

Photorefraktion (PowerRef3 plusoptiX R09)

Messungen

Bestimmen Sie bei jedem/r Teilnehmer/in mit dem PowerRef3 plusoptiX R09 (Programm: Standard_10sec)

- jeweils die Fernpunktrefraktion ohne und mit Korrektur (falls vorhanden)
- die Einstellpunktrefraktion für drei unterschiedliche Einstellentfernungen falls ametrop mit Korrektur, falls emmetrop ohne Korrektur (dazu Abstand (z.B. 0,33 m; 0,50 m; 1,00 m) der Fixationsmarken vom Auge auf der Laufschiene verändern), daraus die in der Tabelle aufgeführten Werte berechnen
- Veränderungen beim Blick in die Nähe (dazu Messung von abwechselnder Fixation von Ferne und Nähe (Blicksprünge) bzw. gleitender Übergang von Ferne auf Nähe und umgekehrt, Refraktion, Pupillengröße und horizontaler Blickwinkel beachten)

Protokoll

Fernpunktrefraktion A_R ohne Korrektur (sc): R: _____ L: _____

Fernpunktrefraktion A_R mit Korrektur (cc): R: _____ L: _____

Einstellentfernung a_E (m)				
Akkommodationsbedarf berechnet (dpt)	R/L			
Einstellpunktrefraktion A_E gemessen (dpt)	R			
	L			
Akkommodationserfolg ΔA (dpt) berechnet	R			
	L			
Akkommodationsdefizit / -überschuss (dpt) berechnet	R			
	L			

(Einstellentfernung a_E : Abstand des Einstellpunktes E vom objektseitigen Hauptpunkt des Auges, Akkommodationsbedarf: Kehrwert des gemessenen Objektabstandes (in m) vom objektseitigen Hauptpunkt des Auges, Akkommodationserfolg ΔA : Differenz zwischen Fernpunktrefraktion A_R und Einstellpunktrefraktion A_E , Akkommodationsdefizit / -überschuss: Unterschied zwischen Akkommodationsbedarf und Einstellpunktrefraktion, Einstellpunktrefraktion ist geringer/höher als Akkommodationsbedarf, hier: Unterschied zwischen Akkommodationsbedarf und Akkommodationserfolg)

Was ist bei der Betrachtung der gemessenen und berechneten Werte festzustellen:

Welche 3 Vorgänge treten bei der Nahfixation auf (Auswertungsgrafiken analysieren):
